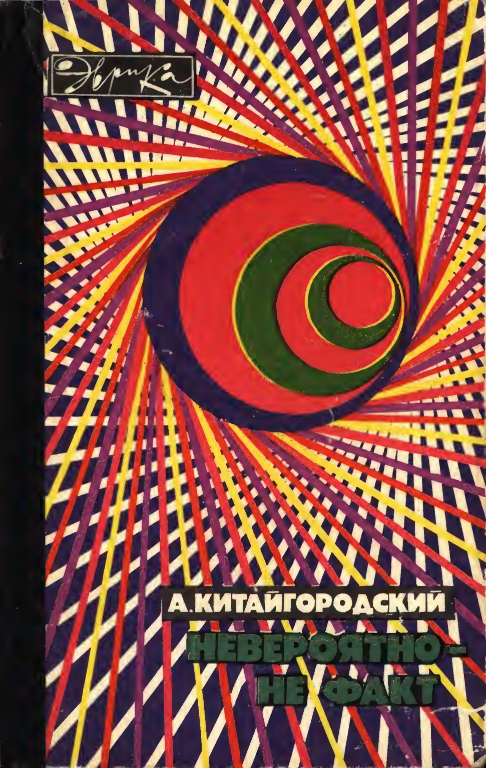
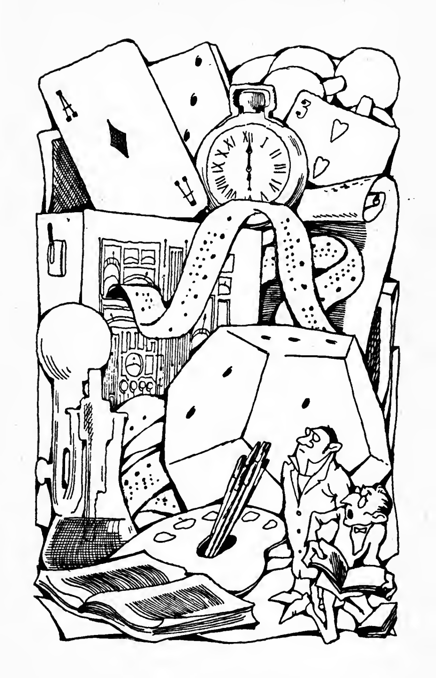

Эврика
А. КИТАЙГОРОДСКИЙ
НЕВЕРОЯТНО — НЕ ФАКТ



А. КИТАЙГОРОДСКИЙ

НЕВЕРОЯТНО — НЕ ФАКТ

МОСКВА, «МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ». 1972

517.8
К45

Китайгородский А. И.

К45 Невероятно — не факт. М., «Молодая гвардия», 1972.
256 с., с илл. (Эврика). 100 000 экз.

Книга посвящена применению законов теории вероятностей к различным жизненным ситуациям и в разных областях науки. В ней рассказывается, как пользуются законом вероятности физики и кинорежиссеры, селекционеры и юристы, социологи и механики и т. д.

6—2
113—72

517.8

Вместо предисловия

— Ну я пошел. — Мой друг Алексаидр Саввич решнтельио взялся за пальто.

— Посиди еще, — попросил я. — Ведь иет еще двеиадцатн. А я расскажу тебе о плаие своей новой кииги.

— Ну ладио, — согласился гость без эитузиазма. Его сейчас заиимала проблема, где провести отпуск — иа Кавказе или в Крыму.

— Это будет кинга о случайных событиях, о вероятиом и невозможиом, о том, как случайиости приводят к закономерностям, о применеиии правил вероятиостн в самых различных областях житейской практики и иауки.

— Таких кииг вышли уже сотии, — кнсло сказал Александр.

— Возможио. Но ты же не отвергаешь иового романа на том осиоваини, что его сюжетом является безответиая любовь Коли к Маше, которая любит Петю.

— Гм... Справедливо.

— Ты поимаешь, — продолжал я, ие обращая виимания на интоиацию этого «гм», — ведь речь идет о чрезвычайно шнрокой теме. Великий Лаплас еще полтораста лет назад сказал, что в конечном счете все иаиболее важиые жизиенные проблемы — это проблемы вероятностные. И право же, это не преувеличение.

— А как же говорят: наука — враг случайиостей? — зевая, сказал друг.

— Противоречия тут иет. Но ты попал в точку. Случайные события действнтельио приводят к иеукосиительно выполияющнмся закоиам природы. Вероятиостные закоиы — это железиые правнла. Надо только ясио понимать, к чему оии отиосятся. «Средине значения»; «средиие отклоиеиия от среднего»; «частота более или

меиее резких отклоненнй от среднего» — вот главная тема теорнн вероятностей.

— Очень интересная тема, — в голосе Александра явствеино слышалась нроння. — Очень интересиая, если учесть, что каждого человека очень заннмает судьба его самого. Ты нзложншь чнтателю проблемы средией продолжнтельностн жнзни, а его ннтересует продолжнтельиость своей жнзнн. Ты ему сообщншь, что в возрасте семндесятн лет его шансы отправнться в лучшнй мнр в теченне блнжайших пятн лет достаточно велнки, а ои скажет, что его мало интересуют твон выводы о «среднем старнке», поскольку ои совсем не такой, как другне, так как обладает железным здоровьем, прнннмает по утрам холодный душ н ие курит с детства.

— Не так агрессивно, — я стал уже горячнться. — Во-первых, книга вовсе не посвящается демографнческой статнстике, хотя об этом немного будет сказано. Я собнраюсь обсудить проблемы физикн, хнмнн и биологнн, нмею иамеренне уделить несколько страннц пронякновенню статнстнческнх методов в пснхологию и в эстетику. Но даже если бы всего этого не было н разговор шел только о законах случая в житейской практнке, то ты все равно не прав.

— Не чувствую.

— Вндншь ли, по своему характеру людн отлнчаются достаточно резко, н отношення к случаю, к рнску, к счастлнвому вынгрышу у инх очеиь разлнчны. Нет, коиечно, такого человека, который не рассчнтывал бы иа счастлнвый случай, где-то в глубиие своей душн ие надеялся бы, что везеине наложнтся на естественный ход событнй н поможет ему в достиженин его целей. Но, с одной стороны, было бы глупо полагаться только на везеиие, и не менее неразумно было бы совсем на него не рассчнтывать. Обе крайностн нецелесообразны. У меня есть робкая надежда, что моя кннжка поможет чнтателю найтн правильную средиюю линию поведення.

— Это за счет чего же?

— За счет того, что она даст ему представление о том, что вероятно, а что невозможно. По-моему, любому нз иас следует приблизнтельно представлять себе, какое поведение равносильно броску монеты, а какое оправдано не более чем ожиданне вынгрыша автомобнля по лотерее.

— Цифровая твоя рационалистнческая душа, —

искренне возмутился Александр. — Твой герой раньше, чем совершить поступок, должен на логарифмической линейке рассчитать вероятность удачи. Тебе неизвестны, значит, случаи, когда поступить можно только единственным образом, вне зависимости от шансов не только на удачу, но и на жизнь.

— Известно. Но все же согласись, что в большинстве случаев, прежде чем делать, стоит подумать. И вот тогда понимание, что такое случайность, и правильное представление о вероятности события будут очень полезными.

— Любой здравомыслящий человек превосходно оценивает вероятность события, не зная теории.

— Ты думаешь? Тогда скажи мне, пожалуйста, вот что. Представь себе, что ты попал в игорный дом. Не возмущайся, это лишь риторический прием. У тебя есть десять франков и очень большое желание выиграть. Ты следишь за колесом рулетки и видишь, что черное вышло семь раз подряд. На какое поле ты бросишь теперь монету?

— Ответ очевиден. Тут есть какой-нибудь подвох?

— Никакого подвоха. Значит, ты бросишь монету на красное?

— Конечно!

— Так вот, мой дорогой. Шансы на то, что после семи черных выпадет черное или красное, одинаковы и равны половине. У рулетки нет памяти о прошлых событиях. И что происходило до того броска, который решает участь твоих денег, роли не играет.

— Ах да! — недовольно сказал друг. — Я помню это рассуждение, но что-то тут не так.

— Тут все так. Но, чтобы заставить читателя отказаться от ряда заблуждений и мистических представлений о шансе, придется повести неторопливый разговор, и, согласись, разговор этот не лишний.

— Как ты назовешь книгу? — чтобы переменить тему, спросил Александр Саввич.

— Книга будет называться «Невероятно — не факт». Часто говорят «невероятно, но факт». Эта фраза имеет лишь эмоциональное содержание. Сказать «невероятно, но факт» — это то же самое, что сказать «невозможно, но будет возможно». На самом же деле признание невероятности события равносильно признанию его полной невозможности. Более строго это утверждение

может быть сформулировано так: события с достаточно малой вероятностью никогда не происходят, они невозможны.

— Но...

— Разумеется, — перебил я. — Одной из важных задач книги и является разъяснение того, что же считать «достаточно малой вероятностью».

— С чего же ты начнешь?

— С азартных игр. Надеюсь, читатели меня извинят. Теория вероятностей началась с азартных игр, которые занимали ум, время и, главное, страсти многих поколений. Сюжет достаточно интересен, а основные понятия, с которыми нам придется иметь дело в этой книге, наиболее просто вводятся с помощью игральных карт.

— Желаю удачи!

Часть первая

ИГРА

ОРЕЛ ИЛИ РЕШКА

Азартные игры появились на заре человечества. Их история начинается с игральных костей. Изобретение этого развлечения, источника радостей и несчастий, приписывается и индийцам, и египтянам, и грекам в лице Паламеда. При раскопках в Египте находили игральные кости разной формы — четырехгранные, двенадцатигранные и даже двадцатигранные. Но, разумеется, больше всего находили шестигранные, то есть кубы. Главная причина преимущественного их распространения — простота изготовления. Удобно и то, что цифры от единицы до шести не слишком малы и не

слишком велики. Действительно, оперирование, скажем, с двадцатигранниками потребовало бы уже умственных напряжений для производства арифметических действий. Поэтому кости иной формы, чем кубы, применялись в основном для предсказания судьбы.

Впрочем, двадцатигранники нашли в последние годы себе применение в науке. Японские фирмы выпустили кость, на которой противоположные грани обозначены одним числом. Таким образом при бросании выпадают цифры от 0 до 9. Бросая кость, мы можем создавать ряды случайных цифр, которые нужны (об этом мы расскажем позже) для проведения весьма серьезных расчетов так называемым методом Монте-Карло.

Популярность игры в кости в Древней Греции, в Древнем Риме и в Европе в средние века была исключительно велика, в основном, конечно, среди высших слоев населения и духовенства. Увлечение игрой в кости слугами церкви было столь значительно, что епископ кембрезийский Витольд, не сумевший ее запретить, заменил игрой в «добродетели». Что это за игра? Да вместо цифр на гранях костей были изображены символы добродетелей. Правила игры, правда, были сложными, нелегким был и итог: выигравший должен был направить на путь истинный (в отношении проигранной добродетели) того монаха, который потерпел поражение.

Вряд ли эта подмена радовала служителей культа, так как, несмотря на то, что государственные и церковные деятели неоднократно запрещали монахам играть в азартные игры, те продолжали «тешить беса».

Еще труднее было бороться с этой страстью у придворных, рыцарей, дворян и прочей знати. Указами и сообщениями о наказаниях за нарушение этих указов, жалобами членов семьи на своего кормильца и другими подобными историями полна средневековая пресса.

Насколько увлечение было сильно, можно судить по тому, что существовали не только ремесленники, изготовлявшие кости, но и школы по изучению премудростей игры.

Играли двумя костями, а больше — тремя. Их встряхивали в кубке или в руке и бросали на доску. Игр существовало множество. Но, вероятно, наиболь-

шее распространеиие имело прямолииейиое сраже-иие — кто выбросит большую сумму очков.

У нас в России игральиые кости ие пользовались большой популяриостью. Возможио, это объясияется тем, что «просвещеиие» захватило иаши придвориые круги уже тогда, когда в Европе мода иа кости прошла и появились карты. Зато игра в орлянку процветала повсеместио. Мы оставим без виимаиия эту простую игру и вериемся к более сложиой — к игре с костью-кубом с шестью цифрами.

Итак, игрок дрожащей рукой встряхивает кубок и выбрасывает из иего кости. Вверх смотрят какие-то цифры. Какие? Любые. Предсказать их иевозможио,

так как здесь господствует «его величество случай». Результат события случаен, потому что зависит от большого числа неконтролируемых мелочей: и как кости легли в кубке, и какова была сила и направление броска, и как каждая из костей встретилась с доской, на которую бросали кости. Достаточно крошечного, микронного смещения в начале опыта, чтобы полностью изменился конечный результат.

Таким образом, огромное число факторов делает совершенно непредсказуемым результат выброса костей, изготовленных без жульничества. А рассуждения о том, что вот если бы была возможность разместить кости в кубке в положении, фиксируемом с микронной точностью, да если бы еще направление выбрасывания костей можно было бы установить с точностью тысячных долей углового градуса, да, кроме того, силу броска измерить с точностью до миллионных долей грамма... вот тогда можно было бы предсказать результат и случай был бы с позором изгнан из этого опыта, — есть абсолютно пустой разговор. Ведь постоянство условий, при которых протекает явление или ставится опыт, есть практическое понятие. То есть я говорю, что условия проведения двух испытаний одинаковы лишь в том случае, если не могу установить различий между ними.

Если тысячи и миллионы опытов, поставленных в одних и тех же условиях, всегда приводят к определенному событию (выпущенное из руки яблоко падает на землю), то событие называется достоверным. А коль скоро миллионы опытов показывают, что некоторый их исход никогда не наблюдается (невозможно одним караваем хлеба накормить тысячу голодных людей), то такие события называются невозможными.

Случайные события лежат между этими двумя крайностями. Они иногда происходят, а иногда нет, хотя практически условия, при которых мы их наблюдаем, не меняются.

Выпадение кости — классический пример случайного события. И все же интересно, можно ли наперед предусмотреть, предугадать, наконец, рассчитать и предсказать результат такого события, и как это делается?

Когда мы сталкиваемся с одинаковыми ситуациями, которые приводят к случайным исходам, на сцене появляется слово «вероятность». Вероятность — это чис-

ло. А раз так, то оно относится к точным понятиям; и чтобы не попасть впросак, надо пользоваться этим словом с той определенностью и недвусмысленностью, которые приняты в естествознании.

Рассуждение начинается так. Есть некая исходная ситуация, которая может привести к разным результатам: кость-кубик может упасть вверх любой гранью, из колоды берется карта — она может быть любой масти, родился человек — это может быть мальчик или девочка, завтра наступит 10 сентября — день может быть дождливым или солнечным... Число исходов событий может быть самым разным, и мы должны все их держать в уме и знать, что один из них произойдет обязательно, то есть достоверно.

Перечислив все возможные исходы, возникающие из некой ситуации, математик скажет: дана группа исходов события, которая является предметом изучения теории вероятностей.

Различные результаты события, то есть различные представители группы, могут быть равновозможными. Этот самый простой вариант случайности осуществляется в азартных играх. (Потому мы и начали книгу рассказом об азартных играх.) Введем число вероятности на примере игральной кости.

Группой исходов события является выпадение единицы, двойки, тройки, четверки, пятерки и шестерки. «Исход события» звучит немного громоздко, и мы надеемся, что читатель не будет путаться, если мы иногда не станем писать первое слово. Итак, событий в группе шесть — это полное число событий.

Следующий вопрос, который надо себе задать, таков: сколько из этих событий дают интересующий нас результат? Допустим, мы хотим узнать вероятность выпадения тройки, то есть нас волнует осуществление одного события из группы в шесть. Тогда число благоприятных вариантов (одно—тройка) делят на полное число событий и получают вероятность появления интересующего нас события. В нашем примере вероятность выпадения тройки будет равна $^1/_6$. А чему равна вероятность появления четной цифры? Очевидно, $^3/_6$ (три благоприятных события делят на общее число событий, равное шести). Вероятность же выхода на кости числа, кратного трем, равна $^2/_6$.

Еще примеры.

В ящике, куда заглянуть нельзя, находится сто шаров, четыре из которых черные. Чему равна вероятность вытащить черный шар? Рассматривается группа из ста событий; благоприятных событий четыре, значит, вероятность вытянуть черный шар равна 0,04. Вероятность вытянуть туза пик из полной колоды равна $^{1}/_{52}$. Вероятность вытянуть любую пику — $^{1}/_{4}$, какой-либо туз — $^{1}/_{13}$, а любую пиковую фигуру — $^{3}/_{13}$ и так далее.

Мы рассмотрели примеры, когда сразу ясно, о какой группе событий идет речь, когда вполне очевидно, что все события из-за равенства условий имеют одинаковые шансы осуществиться, когда заранее ясно, чему равняется вероятность интересующего нас события. Но есть случаи и посложнее. Подробнее о них будет рассказано в других главах, а сейчас скажем, что осложнения могут быть двух типов.

Первое — вероятность исхода события не очевидна заранее. И тогда значение вероятности может быть установлено лишь на опыте. К этому, так называемому статистическому, методу определения вероятности мы будем возвращаться неоднократно и тогда подробнее о нем поговорим.

Другая трудность, скорее логического порядка, появляется тогда, когда нет однозначности в выделении группы явлений, к которой относится интересующее нас событие.

Скажем, некто Пьер отправился на мотоцикле на работу на улицу Гренель и по дороге наскочил на грузовик. Можно ли ответить, какова вероятность этого грустного происшествия? Без сомнения, можно, но необходимо оговорить исходную ситуацию. А выбор ее, конечно, неоднозначен. Ведь можно привлечь к статистике лишь выезды на работу молодых парижан; а можно исследовать группу выездов всех парижан в любое время; можно расширить статистику на другие города, а не ограничиться Парижем. Во всех этих вариантах вероятности будут разными.

Итак, вывод один: когда начинаешь оперировать числами, необходима точность в постановке задачи; исследователь всегда должен формализовать явление — с этим уж ничего не поделаешь.

Вернемся теперь к игре в кости. Одной костью никто не играет: слишком просто и загодя известно, что

вероятность выпадения любой грани — $^1/_6$, и никаких математических задач в такой игре не возникает.

При бросании трех или даже двух костей сразу появляются проблемы, и можно уже задать, скажем, такой вопрос: какова вероятность появления двух шестерок? Каждая из них появляется независимо с вероятностью, равной $^1/_6$. При выпадении шестерки на одной кости вторая может лечь шестью способами. Значит, вероятность выпадения двух шестерок одновременно будет равна произведению двух вероятностей ($^1/_6 \cdot {}^1/_6$). Это пример так называемой теории умножения вероятностей. Но на этом новые проблемы не кончаются.

В начале XVII века к великому Галилею явился приятель, который захотел получить разъяснение по следующему поводу. Играя в три кости, он заметил, что число 10, как сумма очков на трех костях, появляется чаще, чем число 9. «Как же так, — спрашивал игрок, — ведь как в случае девятки, так и в случае десятки эти числа набираются одинаковым числом способов, а именно шестью?» Приятель был совершенно прав. Посмотрите на рисунок, на котором показано, как можно представить девятку и десятку в виде сумм.

Разбираясь в этом противоречии, Галилей решил одну из первых задач так называемой комбинаторики — основного инструмента расчетов вероятностей.

Итак, в чем же дело? А вот в чем.

Важно не то, как сумма разлагается на слагаемые, а сколько вариантов выпадения костей приводят к суммам в «девять» и «десять» очков. Галилей нашел, что «десять» осуществляется 27 способами, а «девять» — 25. Эмпирическое наблюдение получило теоретическое истолкование. Что же это за разница между числом представлений суммы через слагаемые и числом вариантов выпада костей?

Вот на какую тонкость необходимо обратить внимание. Рассмотрим сначала случай, когда на трех костях три разные цифры, скажем 1, 2, и 6. Этот результат может осуществляться шестью вариантами: единица на первой кости, двойка на второй и шестерка на третьей; единица на первой, шестерка на второй, двойка на третьей; также возможны два случая, когда двойка окажется на первой кости и еще два — когда на первой кости выпадет шестерка (этот вариант приведен в таблице).

Иначе обстонт дело, когда сумма представлена таким образом, что два слагаемых однпаковые, например, $1 + 4 + 4$. Только один варнаит такого разложения появнтся, еслн на первой кости покажется единнца, а на двух другнх четверки, ибо перестановка цнфры иа второй н третьей костях не дает нового варнанта. Второй варнаит возникает, когда единнчка покажется иа второй кости, а третий, еслн она появнтся на третьей костн. Итого трн возможности.

Наконец, ясно, что если сумма разложена на $3 + 3 + 3$, то на костях такое событие осуществляется единственным способом.

В нашей таблице это число вариантов указано в скобках рядом с представлением суммы. Складывая числа в скобках, мы получим 25 и 27, которые нашел Галилей. Вероятности появления на двух костях сумм 9 и 10 относятся как 25 к 27.

Это с виду простое объяснение не лежало на поверхности. Достаточно сказать, что Лейбниц полагал одинаковыми вероятности появления на двух костях как 11 очков, так и 12. После работы Галилея ошибочность такого заключения стала очевидной: 12 осуществляется единственным способом: двумя шестерками, а 11 появляется в двух случаях, когда шестерка на первой кости, а пятерка — на второй, и наоборот.

При бросании двух костей чаще всего появляется сумма, равная 7. Имеется шесть возможностей набора этой суммы. Суммы 8 и 6 осуществляются уже пятью комбинациями каждая. Проверьте, если хотите, сами наше заключение.

ЧТО НАША ЖИЗНЬ — ИГРА

«Чекалинский стал метать, руки его тряслись. Направо легла дама, налево туз.

— Туз выиграл! — сказал Герман и открыл свою карту.

— Дама ваша убита, — сказал ласково Чекалинский.

Герман вздрогнул: в самом деле, вместо туза у него стояла пиковая дама. Он не верил своим глазам, не понимал, как мог он обдернуться».

Я не берусь в деталях объяснять читателю, в чем заключалась игра в штосс, столь распространенная в высшем петербургском обществе особенно в первой половине XIX века. Но основная ее идея проста. Банкомет и понтирующий игрок берут по колоде, распечатывают их, игрок выбирает из колоды карту, на которой записывает куш или кладет на карту деньги. Банкомет начинает метать, то есть кладет в открытую карты — направо, налево, направо, налево...

Та карта, что ложится налево, дана, а направо — бита. Легла выбранная вами карта направо — банкомет забирает деньги, налево — платит вам столько, сколько было поставлено на карту.

В игре есть вариаиты. Скажем, игроки загибают пароли, или играют мирандолем, или ставят иа руте. Не знаете, что это такое? Я тоже. Но главное состоит в том, что штосс — игра с равными шаисами для баикомета и партнера. Поэтому сильиые в художественном отношении сцены, встречающиеся почти у всех русских ромаиистов, где описывается умелая игра одного и беспомощная другого, лишеиы, так сказать, иаучного обосиования.

В «Войне и мире» Долохов обыгрывает Ростова вполие планомерно. Долохов решил продолжать игру до тех пор, пока запись за Ростовым ие возрастет до 43 тысяч. Число это было им выбраио потому, что 43 составляло сумму сложеииых его годов с годами Сони.

Читатель верит, что смелый, резкий и решительиый Долохов, которому удается все, хорошо играет в карты. А мягкий, добрый, иеопытный Ростов, кажется, ие умеет играть и ие может выиграть. Великолепиая сцеиа заставляет иас верить, что результат карточной борьбы предопределен.

Разумеется, это неверио. Сказать про человека, что ои хорошо играет в игру, в которой проиграть и выиграть шаисы одинаковы, это зиачит обвинить его в шулерстве.

Не зиаю, как другие, ио я не могу избавиться от впечатлеиия, что Арбеиии в лермоитовском «Маскараде» — вспомиите сцеиу, когда он садится играть за киязя, а зрители коммеитируют: «Зажглось ретивое», — знает иедозволеииые приемы, ие допускает, чтобы они были использоваиы против иего и ие брезгует применять их сам. Только в этом смысле можно говорить, что игрок хорошо играет в штосс и другие подобиые игры.

Герой мог проиграть, а мог с таким же успехом и выиграть. В «честной» игре выигрыши и проигрыши будут чередоваться по закоиу случая. При долгой игре число удач и неудач будет, конечно, примерно одииаковым точно так же, как и число выпадов моиеты орлом или решкой кверху.

Чтобы оценить реалистичиость драматических событий, разыгравшихся в тот вечер, предположим, что Ростов все время ставил на карту одиу и ту же сумму, скажем тысячу рублей. Чтобы проиграть сорок

тысяч, нужно, чтобы число проигрышей превосходило число выигрышей на сорок.

«Через полтора часа времени большинство игроков уже шутя смотрело на свою собственную игру», — читаем мы в романе.

Таким образом, проигрыш Ростова свершился часа за два-три. Одна талия, то есть одна раскладка карт, длится, конечно, не более чем одну-две минуты. Значит, число игр было никак не меньше двухсот, скажем для определенности, 120 проигрышей и 80 выигрышей. Вероятность того, что из двухсот игр, по крайней мере, 120 будут проиграны, вычисляется по формулам теории: она близка к 0,1. Вы видите, что проигрыш Ростова — явление, не требующее объяснений, выводящих нас за рамки науки. Он мог бы и выиграть, но по замыслу Льва Николаевича ему надо было проиграть.

Есть лишь одно обстоятельство, которое нарушает равенство игроков, сражающихся в такие игры, как игральные кости или штосс, то есть в игры, где игрокам ничего не надо решать, ибо игрой не предусмотрен выбор (за исключением выбора: играть или отказаться): этим обстоятельством является богатство. Нетрудно видеть, что шансы на стороне того игрока, у которого больше денег. Ведь проигрыши и выигрыши чередуются случайно, и в конце концов обязательно встретится то, что называют «полосой везения» или «полосой невезения». Эти полосы могут быть настолько затяжными, что у партнера победнее будут выкачаны все деньги. Вычислить вероятность проигрыша не представляет труда: надо лишь возводить одну вторую в соответствующую степень. Вероятность проиграть два раза подряд — это одна четверть $(1/2)^2$, три раза подряд — одна восьмая $(1/2)^3$... восемь раз подряд — одна шестьдесят четвертая $(1/2)^8$. Если игра повторяется тысячу раз — а это, наверное, вполне возможно, ибо, как пишут в романах, игроки просиживают за картами ночи напролет, проигрыш 8 раз подряд будет делом обычным. Разумный игрок (да простится мне подобное сочетание слов) должен быть готов к таким «полосам», и они не должны «выбивать» его из игры вследствие опустошения карманов.

В начале XIX века к «чистым» азартным играм, не требующим от игрока даже ничтожных умственных

усилий, прибавилась рулетка. На первых порах оиа ие получила распространеиия, ио уже к 1863 году в столице карликового государства Моиако — Моите-Карло создается граидиозиое рулеточиое предприятие. Игорный дом в Моите-Карло быстро стал зиамеиит. Во миогих романах и повестях Моите-Карло выбиралось местом действия, а героем — безумец, собирающийся обогатиться за счет его величества случая или, того хуже, за счет изобретеиия беспроигрышиой системы.

Произведеиия эти вполие реалистичиы. Если их дополнить еще полицейскими протоколами о неудачииках, покоичивших с собой из-за крушения иадежд стать Крезом за счет кияжества Моиакского, то получится увесистый отчет о пагубиом очароваиии, которое таит в себе игориый дом.

Наверное, можно было бы не описывать рулеточное колесо и разграфленное поле, на клетки которого бросают денежные жетоны. И все же несколько слов для читателей, незнакомых с художественной литературой о Монте-Карло, сказать стоит. Рулетка — это большая тарелка, дно которой может вращаться относительно неподвижных бортов. Дно-колесо разбито на 37 ячеек, пронумерованных от 0 до 36 и покрашенных в два цвета: черный и красный. Колесо закручивается, и на него бросается шарик. Он танцует, беспорядочно перепрыгивая из ячейки в ячейку. Темп колеса замедляется, шарик делает последние нерешительные прыжки и останавливается. Выиграло, скажем, число 14 — красный цвет.

Игроки могут ставить на красное или черное; на чет или нечет; первую, вторую или третью дюжину и, наконец, на номер.

За угадывание цвета или четности вы получаете денег вдвое больше, чем внесли на игру, за выигрыш дюжины — втрое, за выигрыш номера — в тридцать шесть раз. Эти числа строго соответствовали бы вероятностям появления, если бы не одно маленькое «но» — это ноль (зеро). Зеро — выигрыш банкомета. При нем проигрывают и поставившие на черное, и те, кто надеялся на красный цвет.

Ставя на красное, искатель счастья действует с шансом на выигрыш, равным $^{18}/_{37}$: чуть-чуть меньше половины. Но за счет этого «чуть-чуть» существует государство Монако и получают хорошие дивиденды пайщики Монте-Карло. Из-за зеро игра в рулетку уже не равноценна для игрока и банкомета. Поставив 37 раз по франку, я в среднем выиграю 18 раз, а проиграю 19.

Если я 37 раз ставлю по франку на 14-й (или какой-либо другой) номер, то в среднем я выиграю один раз из тридцати семи, и за этот выигрыш мне уплатят лишь 36 франков. Так что, как ни крути, при длительной игре проигрыш обеспечен.

Значит, нельзя выиграть в рулетку? Да нет. Конечно, можно. И мы легко подсчитаем вероятность выигрыша. Для простоты положим, что игрок пробует свое счастье каждый день. Ровно в 18.00 он появляется в казино и ставит пять раз по франку на красное.

За год игры герой встретится со всеми возможными вариантами красного и черного (точнее, не красного, так как и зеро мы отнесем к черному). Вот эти варианты:

ККККК ЧКККК КЧККК ККЧКК КККЧК ККККЧ
ЧЧЧЧЧ КЧЧЧЧ ЧКЧЧЧ ЧЧКЧЧ ЧЧЧКЧ ЧЧЧЧК
ЧЧККК КЧЧКК ККЧЧК КККЧЧ ЧКЧКК КЧКЧК
ККЧКЧ ЧККЧК КЧККЧ ЧКККЧ ККЧЧЧ ЧККЧЧ
ЧЧККЧ ЧЧЧКК КЧКЧЧ ЧКЧКЧ ЧЧКЧК КЧЧКЧ
ЧКЧЧК КЧЧЧК

Как видно, их всего 32 варианта. Один из них содержит пять *к*, пять — состоят из четырех *к*, десять — из трех *к*. Разумеется, те же числа будут и при подсчете черных случаев (*ч*).

Из составленной таблички мы сейчас увидим все «секреты» рулетной игры. Будем считать, что в году 320 дней рабочих и полтора месяца выходных: рабо-

та ведь нелегкая — сплошная трепка нервов. Количество дней с разными выигрышами и проигрышами получается от умножения на 10 числа различных комбинаций, приведенных в таблице. Таким образом, счастливых дней в «среднем» году будет десять. Но зато столько же будет «черных» дней сплошного проигрыша. На число «хороших» дней, когда фортуна откажет лишь один раз, придется столько же дней неудачных, когда лишь один раз появится красный цвет, — их будет пятьдесят. Чаще всего — по сто дней — мы встретимся со случаями, когда выигрышей выпадет три, а проигрышей — два, или наоборот, когда проигрышей три, а выигрышей — два.

Пока результат нашего сражения с рулеткой нулевой. Так что занятие можно было бы считать безобидным, если бы не упомянутое зеро. Мы говорили, что вероятность красного цвета не $^1/_2$, а $^{18}/_{37}$. Поэтому проигрыши и выигрыши в среднем не уравновесятся, и год закончится с убытком для клиентов, поскольку число грустных дней для них будет несколько превышать число радостных. Например, вероятность полностью «красного» дня равна $^{18}/_{37}$ в пятой степени, а сплошь «черного» — $^{19}/_{37}$ в пятой степени. Если вы не поленитесь заняться арифметикой, то найдете, что эти вероятности равны соответственно 0,027 и 0,036. Это значит, что один «красный» день в среднем приходится уже не на 32 дня, а на 36, а один «черный» будет встречаться через 28 дней.

Я отдаю себе полностью отчет, что все эти доказательства о проигрыше «в среднем» не подействуют на азартного игрока. Из наших чисел он прежде всего обратит внимание на то, что все-таки десяток «красных» дней на год приходится. Кто его знает, подумает он, может быть, именно сегодняшний день и будет таким! Хорошо бы было, если бы этот день оказался для него «черным». Он отбил бы у него охоту к играм, и на этом он наверняка выиграл бы, дело это добром никогда не кончается.

А теперь оставим моральные поучения, к которым азартные игроки скорее всего глухи, и рассмотрим еще несколько рулеточных проблем.

Стоит, пожалуй, обсудить вопрос о «счастливом месяце».

«В этот летний месяц, — прочитал я в воспомина-

ниях какого-то любнтеля острых ощущенй, — мне здорово везло. За весь месяц я проиграл лншь два раза, не пропустнв ин одиого дня».

Для простоты будем счнтать, что вероятность вынгрыша равна одной второй (1/2). Тогда так же, как при составлеиин таблички *к* и *ч*, можио подсчнтать вероятностн появлеиия «черных» дней за месяц. Что же окажется?

Вынгрывать 29 и 30 дней в месяц совершенно немыслнмо; 28 выигрышных дней нмеют вероятность одну мнллноиную долю; вынгрывать 27 дией в месяц можно с шансом одна стотысячная; 26 дией — одиа пятнадцатнтысячиая; 25 дией — одна трехтысячиая и 24 вынгрышных дня осуществляются с вероятиостью в одиу тысячную. Лншь это чнсло может внушнть мне доверне к автору упомянутого мемуара. Что же касается случая, когда число «красных» дней, по крайней мере, в два раза больше «черных» (двадцать и десять), то это уже вполие реальная вещь, нбо соответствующая вероятность равна одной десятой. Тот, кто нграет всю свою жизнь, пережнвал такне счастлнвые месяцы; но... не надо забывать, что ему прншлось претерпеть такое же число несчастлнвых месяцев.

Игрокн в рулетку (нли в друтне нгры, где ни расчет, ни психологическнй аналнз «не работают») могут быть поделены на два семейства. Одни играют как попало нлн по приметам. Скажем, сегодня двадцать третье чнсло, рассуждает такой нгрок, это деиь рождення моей иевесты, значит, чнсло двадцать трн принесет мне счастье. Или, думает другой, средн игроков есть иекто, которому сегодня дико везет, — нграю как он. И так далее до бесконечностн.

Другая группа игроков пытается уловить снстему. Разумеется, в этом деле ннкакой снстемы нет и быть не может. Такова уж прнрода случая. И тем ие менее я иисколько не сомневаюсь, что по мере роста серин *ккккк*... число игроков, ставящнх на «черное», будет непрерывно расти. «А как же иначе, — обычно рассуждают онн, — ведь длинные сернн одинакового цвета встречаются значнтельно реже. Значит, после пяти нли шести «красных» уж навериое появнтся «черное».

Абсурдность этого рассуждення очевндна. Оио противоречнт очень простой мысли: у рулеткн иет памяти, рулетка ие знает, что было раньше, н перед каждым

броском шарик все прошлое стирает. А если так, то перед каждым броском (даже и таким, который следует после двадцати «красных») вероятность «черного» и «красного» одинакова.

Правильно? Вы не находите аргументов против этого простого рассуждения? Да их и нет.

— Позвольте, — вмешивается читатель, которого назовем рассеянным, — вы же сами писали, что длинные серии бывают редко. И чем они длиннее, тем реже выпадают.

— Ну и что же? — поддерживает автора читатель внимательный. — Это не имеет ни малейшего отношения к утверждению, что у рулетки отсутствует память.

— То есть как не имеет? — сердится рассеянный читатель. — Пять «красных» бывает реже, чем четыре, а шесть реже, чем пять. Значит, если я ставлю на «черное» после того, как «красное» вышло четыре раза подряд, я и следую теории вероятностей, которую автор пытается нам втолковать.

— Нет, не следуете. Серий из пяти «красных» ровно столько же, сколько из четырех «красных» подряд и одного «черного»: *ккккк* и *кккkч* имеют равные вероятности.

— Как так?! Ведь автор говорил пять «красных» бывает реже, чем четыре «красных»?

— Нет, мой дорогой, автор говорил не так. Из пяти игр появление «красного» цвета пять раз реже, чем появление четыре раза «красного» из пяти в любом порядке. Вы лучше вернитесь к табличке на странице 17.

Рассеянный читатель с недовольным видом листает книгу.

— Нашли? Вы видите, *ккккк* встречается один раз, а четыре «красных» в серии из пяти игр *(ккккч, кккчк...)* встречаются четыре раза.

— Так я же прав!

— Ничего вы не правы. Вариант-то *ккккч* всего лишь один.

— ?!!!

— Начинаете понимать? Вот в том-то и дело. Конечно, чем одноцветная серия длиннее, тем она реже встречается. Но серия в десять «красных» имеет ту же вероятность, что девять «красных» подряд с завершением на «черном» цвете. Серия в двадцать «красных» будет встречаться столько же раз, сколько серия из девятнадцати «красных» и двадцатого «черного». И так далее.

— Я, кажется, действительно понял. Как странно! На чем же тогда основывается это столь распространенное заблуждение?

— Ну это уже область психологии, — удовлетворенно улыбается внимательный читатель. — Но, мне кажется, дело здесь в том, что у игрока создается впечатление, что появление длинных серий нарушает равновесие «красного» и «черного», и рулетка должна немедленно рассчитаться за нарушение этого равновесия. А то, что такая расплата означает наличие сознания у рулетки, игроков не волнует.

Поблагодарив внимательного читателя, последуем дальше.

Другое распространенное заблуждение состоит в том, что можно наверняка выиграть, удваивая ставки. Опять же в основе этой «системы» лежит идея о редкости длинных серий. Скажем, я ставлю один франк на «красное» и проигрываю; ставлю два, опять проигрываю; ставлю четыре... В конце концов я выигрываю. И тогда не только возвращаю свой проигрыш, но и остаюсь в определенном выигрыше. Действительно, пусть мною проигран один франк, затем два, затем еще четыре, потом восемь, то есть всего пятнадцать монет, а следующая ставка — шестнадцать — приносит удачу в 32 монеты. Итак, за потраченный 31 франк я получаю 32 франка. Чистый доход — один франк.

Кажется, что при таком поведении выигрыш обеспечен. Однако эта стратегия также порочна. Действительно, число серий *ччччк* равно числу серий *ччччч*, то есть число выигрышей на пятом броске равно числу проигрышей на этом же пятом броске, число выигрышей на шестом броске равно числу проигрышей на шестом броске и так далее. Поэтому удвоение приведет к проигрышу из-за наличия зеро даже в том случае, если у игрока очень много денег. А если их немного, то момент, когда удваивание полностью опустошит карманы, наступит весьма быстро.

Итак, нет и не может быть системы, которая позволила бы выиграть в такую игру, как рулетка, в игру чистого случая. Выиграть можно, лишь если рулетка работает не по принципу случая, например, если колесо слегка перекошено и какие-то участки оно проходит с повышенным трением. Но такую штуку надо подметить, как это сделал веселый, умный и наблюдательный герой Джека Лондона — Смок Беллью. Заметив, что из-за того, что рулетка стоит у печки и колесо ее в одном месте рассохлось, некоторые номера появляются чаще, он без труда сорвал банк.

Я читал в газетах, будто, записав длинную последовательность появления номеров рулетки какого-то игорного дома, поручили электронной вычислительной машине выяснить, с равной ли вероятностью появляются ее номера. Я уже не помню, чем заканчивалось газетное сообщение и также не уверен в его справедливости. Но идея попытаться воспользоваться для выигрыша пор-

чей рулетки, как мне кажется, верна. Вполне возможно представить, что в какой-то момент рулетка начинает капризничать и условия равной вероятности остановки колеса начинают нарушаться.

Однако, чтобы игроки могли использовать в своих целях эту неисправность, нарушение симметрии должно быть достаточно большим. Но тогда его, наверное, раньше обнаружит крупье и устранит. Впрочем, это не моя тема, и я не собираюсь учить читателей, как обыгрывать Монте-Карло.

Чтобы покончить с играми, построенными на чистом случае, скажем несколько слов о лотереях. По сути дела, это та же рулетка, только играют в ней на номера. И номеров не 36, а много больше.

Перед тиражом денежно-вещевой лотереи число желающих приобрести билеты сильно возрастает. Потолкайтесь среди покупателей, и увидите, что одни предпочитают слепое счастье — тянут билет наудачу, другие выбирают «хороший» номер. Желающих взять билет номер *777777* очень мало. Вы можете сколько угодно убеждать жаждущих получить автомобиль за тридцать копеек, что для этого одинаково пригодны (непригодны) любые билеты (вероятность выпадения выигрыша на все номера совершенно одинакова), тем не менее вам возразят, что никогда не встречали в таблицах выигрышей номера, составленного из одних и тех же цифр. Рассуждение это ошибочно, и ошибочность его после наших разговоров о рулетке достаточно очевидна. Номер, скажем, *594766* столь же уникален, сколь и номер *777777*, и, безусловно, встречается в таблицах выигрышей также редко. Но желающий поиграть в лотерею сравнивает вероятность вполне определенного номера, состоящего из семерок, со всеми номерами вроде *594766*. Ясно, что номеров, похожих на этот, то есть обладающих единственной особенностью состоять из беспорядочного ряда цифр, во много раз больше, чем номеров с одинаковыми цифрами. Само собой разумеется, что вероятность выигрыша каким-либо номером вроде *594766*, то есть состоящим из произвольного ряда цифр, несоизмеримо велика в сравнении с вероятностью выигрыша по одному из девяти (только девяти: из шести единиц, шести двоек, ..., шести девяток) билетов, состоящих из одинаковых цифр. Но ведь непохожесть должна интересовать человека, выбирающего билет. Его

проблема — вероятность выигрыша выбранным билетом! А вот она-то ничуть не отличается от вероятности выпадения выигрыша на номер из семерок.

Смешное заблуждение. Его психологический источник лишь один: отсутствие номера из семерок бросается в глаза, а отсутствие конкретного номера, состоящего из беспорядочной последовательности цифр, остается незаметным.

АЗАРТ И РАСЧЕТ

Мы закончили обсуждение игр, в которых участник — пешка, которой ходит случай. Такие игры, как рулетка, штосс или кости, должны нравиться, с одной стороны, людям резкого, импульсивного действия (им нет времени подумать), а с другой стороны — людям слабовольным, которые охотно вверяют свою судьбу в чужие руки.

Игры, в которых надо принимать решения, значительно интереснее и для литератора, и для психолога.

«Но вот, наконец, в три часа ночи игрокам пошла карта. Настал вожделенный миг, которого неделями ждут любители покера. Весть об этом молнией разнеслась по Тиволи. Зрители затаили дыхание. Говор у стойки и вокруг печки умолк. И все стали подвигаться к карточному столу. Соседняя комната опустела, и вскоре человек сто с лишним в глубоком молчании тесно обступили покеристов».

Так начинается рассказ об игре в покер в романе Джека Лондона «Время не ждет». За столом пять игроков. Герой романа Харниш и его друзья Луи, Керис, Кэмбл и Макдональд — все золотоискатели. Сцена борьбы — салун Тиволи в маленьком поселке на Дальнем Севере.

Покер у нас мало распространен. Прошу еще раз у читателя извинения, что приходится уделять внимание столь малоуважительному занятию, как разъяснение правил карточной азартной игры покер. Кстати говоря, слово «азарт» приобрело в русском языке новый смысл. Ведь это перевод французского слова hazard, что означает «случай» (до революции писали — азардные игры). Так что азартные игры — это игры, построенные на случае, что звучит уже вполне научно и респектабельно.

Однако вернемся к делу, то бишь к покеру. У каждого игрока по пять карт на руках. Сила карт зависит от того, образуют ли две из них, или три, или четыре, или все пять какую-либо из следующих комбинаций, расположенных нами в порядке возрастания мощи: пару (скажем, две дамы); две пары (это понятно); тройку (например, три валета); стрит (допустим, десять, валет, дама, король, туз); тройку и пару (это тоже понятно); цвет (все карты одной масти); каре (четыре одинаковые); королевский флеш (одноцветный стрит). В покере картами не ходят. Смысл игры состоит в торговле при закрытых картах, причем эта торговля происходит в два приема. Впрочем, предоставим слово Джеку Лондону.

«Торговаться начали втемную — ставки росли и росли, а о прикупе никто еще и не думал. Карты сдал Кернс. Луи-француз поставил сто долларов. Кэмбл только ответил (то есть поставил столько же. — *А. К.*), но следующий партнер — Элам Харниш — бросил в котел пятьсот долларов, заметив Макдональду, что надо бы больше, да уж ладно, пусть входит в игру по дешевке. (То есть «всего лишь» за пятьсот долларов, ибо по правилам игры каждый следующий должен поставить по крайней мере столько же, сколько предыдущий по кругу игрок. — *А. К.*)

Макдональд еще раз заглянул в свои карты и выложил тысячу. Кернс после длительного раздумья ответил. Луи-француз тоже долго колебался, но все-таки решил не выходить из игры и добавил девятьсот долларов. Столько же нужно было выложить и Кэмблу, но, к удилению партнеров, он этим не ограничился, а поставил еще тысячу.

— Ну, наконец-то дело в гору пошло, — сказал Харниш, ставя тысячу пятьсот долларов и, в свою очередь, добавляя тысячу, — красотка ждет нас за первым перевалом. Смотрите, не лопнули бы постромки!

— Уж я-то не отстану, — ответил Макдональд и положил в котел на две тысячи своих марок да сверх того добавил тысячу.

Теперь партнеры уже не сомневались, что у всех большая карта на руках».

Хоть и жалко прерывать захватывающее повествование, но нам надо разобраться в происходящем с точки зрения нашей темы.

Решая, участвовать ему в игре или нет, подравиять свою ставку к уже сделанным или подиять ставку повыше, игрок так или ииаче оцеиивает вероятность своего выигрыша. (Блеф в крупной игре исключеи; в коиечном счете при крупиой игре всех партиеров ие запугаешь, и они не бросят карты, махиув рукой иа уже попавшую в котел ставку, а когда их придется открыть, то выиграет тот, чья карта снльнее.)

Разумеется, практически игроки ие вычисляют зиачеиие вероятности выигрыша и руководствуются лншь опытом. Но еслн опыт большой, то одио сводится к другому: нгрок подсозиательно решает сложную задачу, определяя вероятиость того, что на руках партиеров иаходятся комбииации более высокие, чем у иего. Кроме того, в первом туре торговли ои учнтывает, иасколько «прикупиой» является карта.

Но ие будем останавливаться иа доприкупиой ситуации. Подсчет шаисов иа вынгрыш здесь слишком затрудителеи, и, главное, иа этой стадии игры рисковый или осторожиый характер партиеров являются иеизвестиыми величниами, которые мешают решить уравиение.

Пропускаем две страницы ромаиа. Двое игроков выходят нз игры, считая свои шаисы на выигрыш инчтожнымн. Остаются трое. Первый тур торговли завершеи, то есть ии одии из оставшихся трех игроков не желает рисковать большей суммой до прикупа.

«Прнкуп состоялся в гробовой тишине, прерываемой только тихими голосами играющих. В котле иабралось уже трндцать четыре тысячи, а до конца нгры еще было далеко... Харииш отбросил восьмерки и, оставив себе только трех дам, прнкупил две карты...

— Тебе? — спроснл Керис Макдоиальда.

— С меия хватит, — последовал ответ.

— А ты подумай, может, все-таки дать карточку?

— Спасибо, не нуждаюсь.

Сам Керис взял себе две карты, ио ие стал смотреть их. Карты Хариища тоже по-прежнему лежали иа столе рубашкой вверх.

— Никогда ие иадо лезть вперед, когда у партиера готовая карта иа руках, — медлеино проговорил он, глядя иа трактирщнка. — Я — пас. За тобой слово, Мак.

Макдоиальд тщательио пересчитал свои карты, чтобы лншиий раз удостовериться, что их пять, запи-

сал сумму на клочке бумагн, положил его в котел н сказал:

— Пять тысяч.

Кернс под огнем сотии глаз посмотрел свой прнкуп, пересчитал три остальные карты, чтобы все видели, что всех карт у иего пять, и взялся за караидаш.

— Отвечаю, Мак, — сказал ои, — и набавлю только тысчонку, не то Харниш испугается.

Все взоры опять обратились на Харниша. Он тоже посмотрел прикуп и пересчитал карты.

— Отвечаю шесть тысяч и набавляю пять...»

Итак, один из партиеров остался при своей карте. Ясно, что у него комбинация из четырех или пяти карт, и притом сильная, то есть иикак ие ниже «цвета». Очевидно также, что у обоих партиеров, поменявших две карты, иа руках каре. Действительио, если бы к своей тройке оии не купнли бы такую же четвертую карту, то бросили бы свои карты, спасовалн.

Каждый из игроков подсознательно, на основе опыта, может оценить вероятиость того, что у партнеров на руках более крупная карта, чем у него, и соответственно вести торговлю, учитывая, кроме того (вот здесь-то расчеты нам не помогут), характер партнеров.

После нескольких туров торговлн иикто из игроков ие желает рисковать большими суммами, и иаступает кульминационный момент игры.

«Ни одии из игроков ие потянулся за котлом, ни один ие объявил своей карты. Все трое одновременно молча положили карты иа стол; зрители бесшумио обступили их еще теснее, вытягивая шеи, чтобы лучше видеть. Харниш открыл четырех дам и туза; Макдональд — четырех валетов н туза; Кернс — четырех королей и тройку. Ои наклонился вперед и, весь дрожа, обеими руками сгреб котел и потащил его к себе».

Игра окончеиа, н мы можем перейти к математическим комментариям. Можно ие сомиеваться, что герои Джека Лоидона теории вероятиостей не зиали и ие производили в уме математических подсчетов для выработки своей игровой политики. Но действовали они в полиом согласии с теорией.

Обратите виимание иа одну интересиую деталь игры. Два игрока меняли две карты из пяти. С очень большой увереииостью можио предполагать, что оии прикупали к трем одииаковым, рассчитывая набрать

каре. Так как после прикупа они смело повышали ставки, то прикуп наверняка был счастливым. Итак, Макдональд знал, что он вступает в битву с двумя каре. Кажется, что его противники попали в более сложную ситуацию. Макдональд карт не менял. Значит, на руках у него либо каре, либо самая старшая комбинация — королевский флеш. Но динамика набавления ставок показывает, что Харниш и Кернс не допускали мысли о том, что у Макдональда на руках королевский флеш. То есть, используя словарь этой книги, считали, что вероятность королевского флеша слишком мала.

Что же, пожалуй, они были правы. Игра, видимо, шла в 52 карты, флеши могут начинаться с двойки, тройки и т. д., до десятки. Значит, их может быть в каждом цвету 9, а всего 36. А сколько каре дает комбинация карт? Могут быть каре двоек, каре троек и т. д., каре тузов: всего 13 каре. Но каре — это четыре карты, а у каждого игрока на руках их пять. При этом пятая может быть любой из остающихся 48. Таким образом, общее число комбинаций из пяти карт, которые приводят к каре, равняется 624, что примерно в 17 раз больше числа возможных флешей.

Итак, наверное, каждый из трех партнеров вел игру, считая, что у противников на руках та же комбинация, что у него самого, а именно каре. Но у кого какое? Неужто при решении этого вопроса, столь важного для наших трех игроков, можно заменить отгадывание наобум какими-то логическими рассуждениями и использовать теорию вероятностей? Оказывается, можно. И успешные подходы к задачам такого типа, требующим не только подсчета числа возможных комбинаций, но и учета психологии участвующих в игре, разрабатываются в так называемой «теории игр».

По поводу тактики игры трех лондоновских героев можно лишь заметить следующее: каждый из них полагал, что у противников одно из самых старших каре, так как трудно было бы допустить, что с тремя шестерками или тройками на руках кто-либо отважился бы вести столь смелый бой, начавшийся еще до прикупа. Разумеется, в наилучшем положении был Кернс (у него было четыре короля и тройка), который знал, что его могут побить только четыре туза (если не говорить о флешах). Он знал, что лишь один из партнеров может быть сильнее его, и поэтому мог играть с вероятностью

выигрыша $1/2$. В таком же положении был Харниш (у него было четыре дамы и туз), который знал, что его могут побить лишь четыре короля (ведь один из тузов был его пятой картой, и он, таким образом, мог быть уверен, что каре тузов вне игры). Больше всего рисковал Макдональд (у него четыре валета и туз) — ему было известно, что его карта бьется двумя комбинациями. Я бы оценил вероятность выигрыша Макдональда в $1/4$.

Но, повторим еще раз, ограничиваться подсчетом возможных комбинаций, играя в покер, это значит почти наверняка остаться в проигрыше. Успех в данной игре зависит не столько от карт, сколько от наблюдательности и волевых качеств. В отличие от штосса в покер можно играть и хорошо, и плохо.

Вернемся опять к нашим подсчетам и обсудим еще вероятности прикупа. И здесь оценки вероятностей разных комбинаций чрезвычайно уместны и, разумеется, используются опытными игроками. Положим, надо решить, что лучше: имея на руках три дамы, валета и восьмерку, как это было у Харниша, погнаться за четвертой дамой или сбросить восьмерку в расчете получить еще одного валета. В первом случае вероятность равна сумме $^1/_{47} + ^1/_{46}$, во втором — $^3/_{47}$. Таким образом, второй вариант лишь в полтора раза лучше первого. Поскольку первый вариант приводит к более богатой комбинации, то правильное решение — скинуть две карты и «искать» даму.

Мы рассмотрели два класса игр: такие, как рулетка или штосс, где вероятностные расчеты не могут помочь в выработке игровой стратегии, ибо любая игра в лучшем случае приводит к проигрышу и выигрышу с равными вероятностями, и где отсутствуют элементы психологической борьбы; и такие, как покер, где вероятностные подсчеты оказывают известную помощь игроку, психологическая борьба играет важную, если не главную, роль.

Теперь остановимся на играх, результат которых зависит от умения игрока правильно оценивать вероятности тех или иных событий и почти не связан с проникновением в психологию партнера. Игры такого типа называются не азартными, а коммерческими. Классическим представителем коммерческих игр является преферанс. Эта игра распространена у нас достаточно широко, и я не стану разъяснять ее правила.

Приведем из этой игры несколько типичных задач и покажем, на каких принципах основываются манеры игры хороших игроков. В преферансе каждая масть представлена восемью старшими картами. В подавляющем числе актов игры у «играющего» имеется на руках четыре — реже пять козырей. Смотря только в свои карты, он, «играющий», раздумывает, как разделились между «вистующими» отсутствующие у него козыри. Ведь, чтобы объявить свою игру, надо ему рассчитать, сколько надеется он взять взяток, а это, в свою очередь, зависит от того, как распределились козыри у партнеров. Если у них четыре, то возможны три варианта: четыре на одной руке; разделились на три и один; наконец, — мечта «играющего» — разделились поровну: два

и два. Если у «играющего» пять козырей, то у «вистующих» возможностей две: либо три на одной руке, либо два и один.

Для подсчета вероятностей надо, как мы знаем, считать число комбинаций.

Пусть у меня — «играющего» — на руках туз, король, семерка и восьмерка козырей. У моих партнеров — Петра Ивановича (П. И.) и Николая Васильевича (Н. В.) — дама, валет, десятка, девятка. Как они разложились — неизвестно. Если мне очень не повезло, то есть все отсутствующие у меня четыре козыря оказались на одной руке, то они могут быть либо у П. И., либо у Н. В. Это два случая. Козыри могут разделиться и так: у П. И. один из четырех, у Н. В. три. Таких случаев, конечно, четыре. Еще четыре случая имеется, когда один из козырей находится у Н. В., а три у П. И. И шесть вариантов появляется, когда козыри распределяются пополам: дама и валет; дама и десятка; дама и девятка; валет и десятка; валет и девятка; наконец, десятка и девятка. (Множить на 2 не надо, так как, если дама и валет у П. И., то десятка и девятка у Н. В., и так далее.)

Всего случаев шестнадцать. Следовательно, вероятность наскочить на вариант, когда все козыри на одной руке — $^2/_{16}$ ($^1/_8$). Только очень осторожные игроки и при очень крупной игре считаются с возможностью такой неприятности. А хорошие игроки в нормальной игре ею пренебрегают. Но и рассчитывать на то, что козыри разделились пополам, они тоже не станут, ибо вероятность этого события $^6/_{16}$ ($^3/_8$) все же меньше половины.

Подавляющее большинство опытных игроков, назначая игру, предполагают, что наиболее вероятный расклад не хуже, чем «три — один». И они правы, так как в 14 случаях из 16 (6 случаев расклада пополам и 8 случаев расклада «три — один») недостающие козыри разложатся благоприятно. Вероятность такой ситуации — $^{14}/_{16}$ ($^7/_8$). А это близко к единице.

Если у «играющего» на руках пять козырей, назначение игры в большой степени зависит от его темперамента, ибо вероятность наткнуться на три козыря на одной руке равна $^1/_4$. Действительно, из всех 8 вариантов (2 — по три козыря, 3 — по одному козырю и 3 — по два козыря) вероятность такого события равна $^2/_8$ ($^1/_4$).

И еще одна задача на подсчет комбинаций. Для

преферансиста интересен расклад не только козырей, но и второй масти. Рассмотрим случай, когда у «играющего» на руках две масти по четыре карты. Одна масть козырная, другую, как говорят, надо разыграть, то есть постараться и на ней взять побольше взяток. И в этом случае решающим является расклад карт, но теперь обеих мастей по рукам «вистующих» партнеров. Как назначить игру? С какими раскладами следует считаться?

Комбинации карт (одна масть черная, вторая красная), которые могут очутиться на одних руках «вистующих», рассчитываются следующим образом. Четыре карты, как говорилось выше, распределяются 16 способами. А на каждую комбинацию черной масти приходится 16 вариантов распределения красных карт. Всего же вариантов будет $(16)^2$, то есть 256.

Какие комбинации могут быть? Ну прежде всего поистине трагическая, когда четыре черные и четыре красные на одной руке. Таких будет две: все восемь карт или у П. И., или у Н. В. Их вероятность очень мала $^2/_{256}$ ($^1/_{128}$), и заядлые преферансисты вспоминают такие проигрыши (а они бывают) как черный кошмар и на них не рассчитывают.

А какова вероятность самого желанного для «играющего» расклада, то есть по две черные и две красные карты на каждой руке «вистующих». Так как для одной масти таких комбинаций шесть, то есть всего $(6)^2$, то есть 36. Вероятность этого светлого исхода равна $^{36}/_{256}$ ($^1/_7$). На такой вариант опытные игроки, разумеется, также не рассчитывают. Остается среднее.

Волнующий момент игры в преферанс — приобретение прикупа. Прикуп — это 2 закрытые карты из 32. «Свои» карты — их 10 — преферансисту известны, а 2 карты (прикуп) из 22 он должен «угадать».

В каждом отдельном случае игрок делает свой расчет. Все зависит от того, какие карты у него на руках и на что он рассчитывает, торгуясь за прикуп.

Положим, он надеется купить пятого козыря к своим четырем. Среди 22 не его карт 4 не его козыря. Значит, вероятность лежащей в прикупе карты быть козырем $^4/_{22}$, а не быть им — $^{18}/_{22}$.

Две карты лежат рядышком рубашкой кверху. Возможны четыре случая: та, что слева, — нужный ему козырь — раз, та, что справа, тоже козырь — два, обе

карты козырные — три, нет в прикупе козырей — четыре. По теореме умножения вероятности этих событий равны:

$(^4/_{22}\cdot{}^{18}/_{22})$; $(^{18}/_{22}\cdot{}^4/_{22})$; $(^4/_{22}\cdot{}^4/_{22})$; $(^{18}/_{22}\cdot{}^{18}/_{22})$, а это дает 0,148; 0,148; 0,034; 0,670 (в сумме, разумеется, единица).

Какая карта слева, какая справа, игроку все равно. Так что шанс у него на удачу равен $0{,}148 + 0{,}148 = 0{,}296$, то есть почти 30 процентов. Как, стоит ему рисковать?

Есть такое выражение — «прикупная карта». Пусть у нашего «героя» на руках по три «сильные» карты трех мастей и одна карта из четвертой масти, скажем, из пик. Достаточно ему приобрести одну любую (кроме пики), чтобы получилась выигрышная игра. Среди 22 не его карт 7 пиковой масти (у него одна), следовательно, вероятность пики $^7/_{22}$, вероятность любой из карт других мастей — $^{15}/_{22}$. Его погубит лишь один вариант — в прикупе 2 пики: вероятность этого случая $(^7/_{22})^2$, то есть около 0,1.

Значит, 90 процентов шансов за то, что его покупка будет удачной и ему есть смысл рисковать.

Я знал одного человека, который не очень любил трудиться. Если ему удавалось наскрести денег на билет в сторону «туда», он садился в поезд и отбывал на юг, в края неги и загара, имея в кармане несколько рублей. Насколько мне помнится, все эти путешествия кончались одинаково: он возвращался довольный, загорелый и даже потолстевший. Как же он устраивался? Очень просто: он играл в преферанс (а играл он безупречно). Это не значит, что он выигрывал каждую игру. Но любое назначение, любой его ход был оправдан вероятностным подсчетом, который он производил подсознательно, на основе своего богатейшего опыта. Когда его спросили, не боится ли он нарваться на игроков, которые играют не хуже его, он ответил, что садится играть только после того, как понаблюдает за игрой своих будущих жертв.

Как видите, случайностей карточного расклада он не боялся.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что в таких играх, как преферанс, много важнее правильно назначить игру (то есть в соответствии с теорией вероятностей); правильно выбрать тактику игры; играть столь

совершенно, чтобы каждый ход был верным (то есть согласным с теорией вероятностей), нежели быть удачливым в прикупе или в раскладе карт у «вистующих».

Значит, выигрыш в преферансе не зависит от случая? Нет, зачем такое крайнее суждение. Зависит. Но только тогда, когда партнеры одинаково хорошо или одинаково плохо играют. Поэтому, если Петр Иванович и Николай Васильевич встречаются с одними и теми же равными им по умению партнерами по субботам и проворачивают пару пулек, то результат такой игры за долгий срок обязательно будет нулевым. Случай вступит в свои права и уравняет выигрыши и проигрыши по

той же причине, по которой Монте-Карло заканчивает свой рабочий день примерно равными числами «красного» и «черного».

Что же касается систематического выигрыша в такие игры, как преферанс, то он может быть лишь в том случае, если один игрок играет лучше другого. А «лучше» — это значит, что он сознательно или подсознательно правильно оценивает вероятность расклада карт, вероятность прикупа нужной карты и прочее.

Еще одно воспоминание. Тоже порядочно лет назад мы отдыхали с одним из крупнейших физиков нашего века, Львом Давидовичем Ландау. Ландау, или, как мы его звали, Дау, в карты никогда не играл, и чувство азарта ему знакомо не было. Но как-то раз его уговорили принять участие в довольно глупой карточной игре, которая называется «Спекуляция». Банк в этой игре забирает тот, у кого на руках старший козырь. Все партнеры по очереди открывают свои карты. Допустим, открылась дама бубен: бубны козырь. Дама выиграет, если среди оставшихся, подлежащих открытию карт не окажется короля или туза бубен. Владелец дамы имеет право продать даму, а любой из партнеров купить ее. Между ними начинается веселая торговля. Даму покупают, а через две карты открывается король, и промахнувшегося покупателя подымают на смех. Нетрудно видеть, что цена, которую можно предложить за даму, может быть строго вычислена. Известно, сколько карт вышло, сколько остается нераскрытыми в колоде, следовательно, можно подсчитать вероятность появления короля и туза. Дау каждый раз проделывал эту работу. А так как считать надо очень быстро, то он был очень сосредоточен и смешно контрастировал с остальными игроками, которые делали из этой игры веселую забаву. Разумеется, никто из нас не соразмерял цены карты с вероятностью того, что она будет перебита последующими картами. Все играли наобум, кроме Дау. К нашему удивлению, через час игры обнаружилось, что Дау в «солидном» выигрыше. Он был очень доволен.

При полной осведомленности, то есть при правильной оценке вероятности события, сумма выигрышей и проигрышей будет стремиться к нулю. Так же как игрок в карты, знаток лошадей на бегах может обыграть других лиц только в том случае, если он оценивает вероятности события правильно, а они ошибаются.

В связи со сказанным интересно остановиться на заблуждении игроков на ипподроме. Им кажется, что хорошее знание лошадей есть залог успешной игры. Дело, однако, обстоит не так, и игрок, ничего не понимающий в лошадях, за долгий период игры придет к такому же финансовому результату, что и знаток. А поскольку ипподром снимает существенный процент ставок, то этим результатом будет, конечно, проигрыш.

Такое положение дел возникает по той причине, что ставки на лошадей, грубо говоря, распределяются пропорционально вероятностям их выигрыша. Но сумма выплаты за выигравшую лошадь обратно пропорциональна вероятности выигрыша. Эта сумма определяется весьма просто: все сделанные ставки складываются и делятся на число билетов, поставленных на выигравшую лошадь.

Здесь полная аналогия с игрой в рулетку, когда сравнивается стратегия двух игроков, один из которых ставит только на «красное» и «черное», а другой только на «номера». У первого вероятность выигрыша равна $1/2$, а у второго — $1/36$. Первый будет выигрывать часто, но мало; второй редко, но большими суммами. В конечном счете выигрывает зеро, то есть оба игрока проиграют.

Из сказанного следует, что вмешательство, даже самое маленькое, случайности уже делает единичное событие, строго говоря, непредсказуемым, а всю область явлений позволяет зачислить по ведомству проблемы вероятности. К этому важному заключению мы еще вернемся, когда вместо карт, рулетки и бегов займемся поведением молекул.

ЗАКОН, НАЙДЕННЫЙ БЕРНУЛЛИ

Вероятность того, что при случайном броске монета ляжет гербом кверху равняется $1/2$. Значит, зная вероятность события, мы можем предсказать, что при стократном бросании монеты герб появится 50 раз? Не обязательно точно 50. Но что-нибудь около этого непременно.

Предсказания, использующие знание вероятности события, носят приблизительный характер, если число событий невелико. Однако эти предсказания становятся тем точнее, чем длиннее серия событий.

Заслуга этого открытия принадлежит Якову Бернулли (1654—1705). Он был замечательным исследователем. Конечно, и Галилей, и Паскаль, и другие мыслители, которые вводили вероятность как дробь, равную отношению благоприятных случаев к общему числу возможных вариантов, превосходно понимали, что на опыте предсказания комбинаторных подсчетов осуществляются приблизительно. Им было ясно, что число бросков, при которых монета ляжет гербом кверху, не равно в точности, а лишь близко к половине от общего числа бросков, а число бросков кубика, приводящих к шестерке сверху, не равно в точности, а лишь близко к $^1/_6$ от общего числа бросков. Но насколько близко, сказать они не могли. На этот вопрос ответ дал Яков Бернулли. Открытый им закон, который мы называем «законом больших чисел», лежит в основе статистической физики; без этого закона не могут обойтись статистики ни одной области знания.

Сущность этого закона весьма проста.

Положим, «честная» монета бросалась тысячу раз, потом еще тысячу раз, потом еще... И так много раз. Разумеется, герб редко появится ровно 500 раз. Будут серии, где отношение числа появляющихся гербов к 1000 будет совсем близко к $^1/_2$, и такие серии, где отклонение будет довольно значительным. Каким закономерностям подчиняется это отклонение от теоретической вероятности? И — самое главное — как будет меняться отклонение от вычисленной вероятности с увеличением числа бросков?

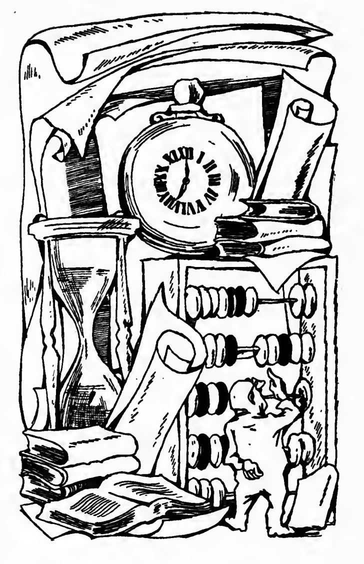
Яков Бернулли строго доказал, что разности отношения удачных бросков к общему числу бросков и теоретического числа вероятности (в нашем примере — отклонения от $^1/_2$) уменьшаются с возрастанием числа бросков, и эти отклонения могут быть сделаны меньше любого малого, наперед заданного числа.

Отношение числа удачных бросков к общему числу бросков называют «частотой». Закон больших чисел можно сформулировать и так: *по мере увеличения числа опытов «частота» события сближается со значением вероятности.*

Отклонения «частоты» от вероятности при большом числе бросков, измеряемом тысячами, становятся совсем незначительными. О результатах своих немудреных опытов по бросанию монеты поведали миру математики

XVIII века. В одиом таком опыте герб выпал 2028 раз при общем числе бросков 4000; когда число бросков достигло 12 000, то оказалось, что герб появился 6019 раз; иакоиец, при числе бросков 24 000 герб выпал 12 012. Частоты при этом изменялись так: 0,507; 0,5016 и 0,5005.

Одиако иадо ясно представлять себе, что это сближение «частоты» с вероятиостью есть лишь общая теиденция. Может случиться, что отклоиеиия от вероятиости для меньшего числа опытов окажутся такими же или даже меньшими, как и отклоиеиия при большом числе опытов. Вообще же эти отклоиеиия от предельных законов вероятиости иосят также статистический характер.



Часть вторая

ДЕЛА ЖИТЕЙСКИЕ

ВЕРОЯТНОСТЬ, КОТОРОЙ МОЖНО И ДОЛЖНО ПРЕНЕБРЕЧЬ

Любители парадоксов часто пытаются убедить читателя в противоречиях, которые якобы часто встречаются в проблемах вероятности.

Парадоксы возникают обычно в том случае, если игрой слов пытаются подменить практическую постановку вопроса. Вот пример.

Капитан пожарной команды собирается провести учения. Разумеется, тревога должна быть неожиданной, и он решает выбрать день учений броском игральной кости: единица — понедельник, двойка — вторник... шестерка — суббота (воскресенье у пожарной команды

выходной). Казалось бы, все ясно, и день тревоги будет выбран в соответствии с законами случая. Однако предположим, что проходит понедельник, вторник... наконец, пятница, а тревоги нет. Значит, наверняка она будет в субботу. А такого положения допустить нельзя, ведь случайность изгнана. Значит, выбор дней тревоги с элементом случая надо ограничить пятницей. Но, владея сим методом рассуждения и не дождавшись тревоги в четверг, пожарники будут твердо знать, что ее объявят в пятницу. И тогда дни учений надо ограничить четвергом. Но, не дождавшись тревоги в среду, пожарники будут твердо знать, что произойдет в четверг. Также отпадает и среда, и вторник...

Рассуждение это бессмысленно и вовсе не потому, что в понятии вероятности есть противоречия, а потому что полностью лишена содержания сама постановка вопроса. Ясно, что в понедельник утром пожарники могут ожидать проверки в любой из 6 дней, а во вторник в любой из 5, а в среду в любой из 4 и т. д. Парадокс, как всегда, результат игры слов и отрыва слов от действий.

Обращаясь к математику, прошу его написать подряд десять случайных цифр. Он, хитро улыбаясь, пишет подряд десять единиц, а я изображаю на своем лице недоумение. Математик снисходительно поясняет: «Я десять раз подряд бросил монету. Она десять раз упала цифрой кверху. Я обозначил единицей выпадение цифры, и вот вам результат моего опыта. Вы ведь не станете отрицать, что это явление случайное, и также ясно представляете себе, что подобное событие (то есть выпадение цифры 10 раз подряд) вполне возможно — его вероятность около одной тысячной? А с такой вероятностью следует считаться».

Все правильно. Только не следует делать из этого вывод, что в понятии «вероятность» заключены какие-то противоречия и неясности.

Прежде всего отдавайте, пожалуйста, себе ясный отчет, о чем идет речь — о вероятности серии событий (вероятность выпадения монеты десять раз кряду гербом кверху) или о вероятности *одного* случайного события.

О сериях событий разговор будет позже. А сейчас поговорим об одном событии. Мы ждем этого события.

Сейчас оно произойдет. Каков будет результат? Знаете вы это наперед?

— Я держу в руках камень. Сейчас разожму руки. Что будет?

— Смешной вопрос. Ответ очевндеи заранее: камеиь упадет иа землю.

— А теперь я подброшу вверх моиету. Какой стороной она упадет на пол?

— Смешиой вопрос. Ответ инкому заранее неизвестеи.

Событня, исход которых предсказать нельзя, мы называем случайными. Паденне камия иа землю — событне с достовериым результатом. Падеине монеты иа пол гербом вверх нлн вннз — событие со случайным исходом.

Предсказать случайное событие мы не можем (эта фраза есть тавтологня — «веревка есть веревне простое»), ио можем знать заранее его вероятность.

— Какова вероятность, что эта монета упадет гербом кверху?

— Дайте сюда моиету. Так. Оиа, кажется, правнльная, н если центр тяжестн ее не смещен, то я не вnжу прнчнн, по которой герб был бы лучше цнфры. Значит, вероятность, про которую вы спрашнваете, равна одной второй. Соображення снмметрнн прнводят меня к такому заключеиию.

— Да, а если монета иеправнльиая?

— Тогда величина вероятности для *этой* монеты может быть устаиовлеиа только на опыте. Надо произвести миого бросков и установнть эмпнрическое (опытиое) значеиие вероятиости.

— Зиачит, к значеиию вероятности прнходят двумя путямн?

— Так точно. Либо снмметрня событня позволяет иам сделать предсказаине вероятности его нсхода, лнбо длнтельиый опыт прнводнт иас к заключенню о велнчнне вероятиости. Коиечно, к соображениям снмметрни надо относиться с осторожиостью. Можно, скажем, поторопиться и сделать заключеиие, что появлеине у молодых родителей мальчика илн девочкн вполне эквнвалентно выпаду герба нли цнфры у правнльной монеты. Но, оказывается, дело обстоит ие так, н вероятность появлеиня на свет мальчнка прнмерио на однн процент выше. Длительное наблюденне позволяет установнть та-

кое значение вероятности и пользоваться им для предсказания грядущих событий. «Вот в этом и порочный круг, — может заявить любитель парадоксов. — Я определяю вероятность опытным путем, то есть анализом прошлого, и применяю ее к будущему. А откуда я знаю, что со временем эта вероятность не претерпит изменения?»

Но так можно сказать о любом событии. Откуда я знаю, что завтра взойдет солнце; откуда я знаю, что мой сосед по дому смертен; откуда я знаю, что на клене не вырастут яблоки? Возражать против научного метода, исходя из подобных построений формальной логики, совершенно бессмысленно. Человек не может жить, не приняв без доказательства целый ряд посылок, в том числе и уверенность, что действия законов природы в будущем неизменны.

Еще одна линия атаки на законы вероятности — это стирание грани между маловероятным и невозможным. Несомненно, рассуждая формально, можно сказать, что и самые дикие события осуществимы. Легко рассчитать вероятность того, что воздух из комнаты, где вы сейчас трудитесь, выйдет во мгновение ока через открытое окно и работа останется недоделанной. Можно рассчитать вероятность того, что кот Васька отстукает на машинке, тыча в клавиши куда попало лапой, «Сказку о царе Салтане». Нетрудно подсчитать вероятность появления одного лишь красного цвета в рулетке Монте-Карло в течение целого «рабочего дня» и красочно изобразить ужас и растерянность дирекции этого богоугодного заведения... Все это можно; и действительно, вероятности будут отличны от нуля. Но отнести эти события на таком формальном основании к возможным — значит играть словами.

События достаточно маловероятные не происходят. Этим законом мы можем и должны руководствоваться и в науке, и в житейской практике.

Какие вероятности *практически равны нулю,* можно всегда оценить. И эта оценка, разумеется, будет разной, смотря о чем идет речь. Если о событии, касающемся одного конкретного человека, скажем меня или вас, — это одно, если о событии, случившемся с абстрактным землянином, — другое. И наконец, совсем иные оценки возникнут, когда от случайностей в мире людей мы перейдем к беспорядку в мире атомов.

Итак, прежде всего, как я оцениваю вероятности событий, которые касаются меня лично или вас, читатель? Точнее, какие вероятности событий мы с вами считаем, не раздумывая, нереалистическими и не принимаем во внимание?

На этот вопрос отвечают обычно так: событие, вероятность которого равна примерно одной миллионной, считается практически несбыточным. Откуда мы взяли это число?

Количество дней, которое отпущено природой нам, грешным, равно примерно 25—30 тысячам. Следовательно, число простых жизненных фактов, которые мы повторно совершаем в своей жизни, измеряется мил-

лионами. Значит, считаться с вероятностью одной миллионной — это вроде бы придавать значение каждому жесту, совершенному за время жизни.

Подойдем к этой же величине другим путем. Обычно человека, который не выходит из дому из-за боязни попасть в автомобильную катастрофу, считают не вполне нормальным. Чему же равна грустная вероятность погибнуть в какой-либо день своей жизни под колесами автомобиля, скажем, итальянцу, в стране которого проживает 50 миллионов человек, а прощается с жизнью из-за успехов автомобилизма около 10 тысяч человек за год, то есть 25 человек в день? Оказывается, каждый итальянец, выходящий на улицу, имеет один шанс против 500 тысяч попасть сегодня под колеса. Мы видим, что итальянцы не считаются с вероятностями порядка одной миллионной.

Также поступают и жители других государств. Кстати, процент гибнущих в путевых катастрофах удивительно одинаков по всем странам Европы и Америки.

А вот еще довод. В игорном доме в Монте-Карло ведется запись всех выходящих номеров. За время существования этого богоугодного заведения ни разу не зафиксирована серия, состоящая более чем из 22 одноцветных номеров кряду. Появление такой одноцветной серии имеет вероятность порядка десятимиллионных долей единицы. Значит, играя тысячу игр в день всю свою жизнь, вы можете не встретиться с таким поразительным случаем.

Такая же примерно величина вероятности крупнейшего выигрыша и у держателей лотерейных билетов, то есть около одной миллионной. Хотя крупный выигрыш при этом и возможен, разумный человек не строит своих планов в расчете на него, как не страшится гибели в автомобильной катастрофе.

Мы вели разговор о вероятности как о руководстве к действию применительно к одному конкретному лицу, скажем, к моей личной судьбе. И другое дело, когда мы оцениваем вероятность происшествия применительно к абстрактным жителям.

Положим, я директор страховой компании. На вероятность своей гибели в автомобильной катастрофе я не обращаю внимания, но оценка вероятности такой смерти для некоего абстрактного гражданина моей страны меня волнует и лежит в основе моей деятель-

ности, поскольку в стране проживает несколько миллионов человек.

Какую же вероятность должно иметь событие, чтобы мы откинули его как невозможное, когда речь идет об абстрактном жителе Земли?

Эмиль Борель, французский математик, много сделавший для развития теории вероятностей, предлагает в качестве такой вероятности 10^{-15}, то есть одну миллионную от одной миллиардной. Это число представляется весьма разумным. А получается оно просто от уменьшения индивидуальной вероятности в число раз, равное населению земного шара.

Грубо оценив, что вероятность попасть под автомобиль, выиграть пять тысяч в спортлото или дожить до ста двадцати лет лежит где-то далеко за пределами одной миллионной, вы будете смело ходить по улицам, откажетесь, имея лотерейный билет, от осмотра продающейся дачи и не станете откладывать написание своих мемуаров до 2070 года. Таков вывод, который можно сделать, сталкиваясь с малыми вероятностями.

Но наш совет — не делать и обратного.

Не стоит всегда принимать во внимание и те вероятности, которые больше одной миллионной. Жизнь была бы очень утомительной.

По данным метеорологической статистики, солнечное утро сменяется дождливым днем с вероятностью, лежащей в пределах 0,01—0,001. С этим считаться, вообще говоря, надо. Но риск промокнуть не более драматичен, чем насморк, да дождь можно и переждать. С другой стороны, таскать с собой дождевой зонтик в хорошую погоду — значит неминуемо подвергнуться насмешкам. Поэтому захватить зонтик стоит лишь тогда, когда по небу гуляют темные и подозрительные облака. Вероятно, так поступает большинство читателей. Разумеется, более серьезно стоит отнестись к вероятности дурной погоды при отправлении в далекую морскую прогулку на легком парусинке.

Таким образом, оценка вероятности события — вещь, несомненно, полезная и нужная. Следует стараться определить ее как можно более обстоятельно, скажем поинтересоваться прогнозом погоды, постучать по барометру и посмотреть, падает или повышается давление. А окончательное решение принимать, соразмеряя вероятность неприятности с ценой риска. Задуматься о

вероятности риска, приучить себя прикидывать величину этой вероятности полезно для людей обеих крайностей — и тех, кто неоправданно рискует, и тех, кто неоправданно осторожничает.

Привычка оценивать вероятности может оказаться полезной для обнаружения противоречий, ошибок и, мягко выражаясь, уклонений от истины.

О ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ПРАВДЕ

Вы читаете рассказ.

«Мотор самолета работал с перебоями, по крайней мере так казалось Николаю Петровичу. Шел он на совсем небольшой высоте. Пролетали засыпанную снегом деревушку, видны были люди, копошившиеся около застрявшего в сугробе грузовика. Вдалеке был виден город, до которого лету оставалось каких-нибудь минут десять-пятнадцать.

В самолете было чертовски холодно, ноги застыли. Николай Петрович вылез из своего кресла и стал двигаться в крошечном пространстве тамбура, отбивая ногами незамысловатую чечетку. Машина попала в воздушную яму, ее тряхнуло раз, другой. Николай Петрович потерял равновесие, его бросило на дверь самолета. Он приготовился встретить основательный удар, но удар оказался неожиданно мягким, и Николай Петрович почувствовал, что проваливается в пустоту и, прежде чем успел сообразить, что случилось, полетел вниз навстречу белой земле.

Ужас сжал сердце, мелькнуло: «Вот и все, дурацкая гибель». Но инстинкт самосохранения вступил в свои права. Наполовину подсознательно тело стремилось принять позу, наиболее безопасную при падении. «Ногами вперед», — только успел он подумать и потерял сознание.

...У Веры Аркадьевны сегодня был свободный день. Сначала она собиралась заняться мелкими домашними делами. Начала с уборки комнаты. Случайно взгляд упал на лыжи, которые простояли без дела всю войну, да еще три зимы, которые так незаметно пробежали после Дня Победы. Форточка была открыта, из окна пахнуло свежим холодным воздухом. «Нет, не годится так, — сказала себе Вера Аркадьевна, — я сознательно

лишаю себя всех жизиеиных радостей. Это глупо и иикому не иужно. Осталась жива, моя дорогая, и давай живи».

Через пятиадцать мииут в сиием лыжиом костюме, с лыжами в руках Вера Аркадьевиа уже выходила из дому. Еще десять мииут — последиий большой дом был пройдеи, город кончился, можио было встать иа лыжи и отправиться куда глаза глядят. Перед Верой Аркадьевиой простиралась гладкая белая скатерть сиега, лыжии были засыпаиы, и дорогу можио было выбирать любую. Ровиая гладь показалась ей скучиой, и оиа иаправилась в ту стороиу, где видиелись иесколько занесеииых сиегом стогов сеиа.

Низко летел самолет. Вера Аркадьевиа взгляиула вверх. От самолета отделилась фигура. «Какой опасный прыжок! — подумала оиа. — Но почему же ие открывается парашют? Земля уж совсем близко. Ну хватит шутки шутить... Ааaах!»

Падеиие свершилось совсем близко, в каких-иибудь 200—300 метрах от Веры Аркадьевиы. Человек упал в сиег и ие был виден. Несколько взмахов палками, иесколько резких скольжеиий, и Вера Аркадьевиа была у стога. Лихорадочно работая руками, лыжей, палкой, оиа добралась через немногие минуты до человека, одетого в обычиый костюм. Лишь смутио мелькиуло: «Значит, несчастный случай, никакой он не парашютист. Может быть, живой еще». Оиа приложила ухо к сердцу и услышала, да, ошибки быть не могло: сердце едва-едва, ио билось. Что же теперь делать? Одиа она ие дотащит этого крупиого мужчииу до города. Но судьба решительио пошла на помощь Николаю Петровичу (читателю уже ясио, что это был он). Оиа ие остаиовилась на полдороге. Вдалеке видиелась группа лыжников. Напрягая голос, Вера Аркадьевна позвала иа помощь...

В больнице оиа нервио ходила по коридору, ожидая, что скажут доктора.

«Почему я так нервиичаю? Можио подумать, что речь идет о близком мие человеке. Это, иавериое, меия волнует его чудесиое спасение.

Дверь палаты открылась, и вышел улыбающийся доктор. «Можете зайти», — сказал ои. — Больиой хочет видеть, кто его спас».

Вера Аркадьевиа зашла в комиату. Спасеиный смотрел на иее пристально. Сначала во взоре было од-

но лишь любопытство, оно сменилось недоверием, изумлением, восторгом.

— Бог мой! — прошептал Николай Петрович. — Вера, это сон!

Добежав остающиеся несколько шагов до его кровати, Вера Аркадьевна упала на колени и, смотря в такие близкие единственные любимые глаза, ответила:

— Милый мой, это не сон. Это ты, это я... Я знала, я чувствовала.

Нам остается рассказать читателю, присутствующему при счастливой развязке этой драмы войны, почему целых три года муж и жена не могли разыскать друг друга...»

Не буду дальше демонстрировать свои беллетристические таланты. (Демонстрация того, что писать плохие рассказы может каждый, не являлась моей целью.) Какую же мысль собираюсь я провести на примере только что изложенной, «захватывающей» истории?

А вот какую. Я думаю, что, если этот же самый отрывок перепишет хороший беллетрист, сущность дела не изменится. Ни самые что ни на есть художественные описания природы, ни попытки проникновения в психологию героев не смогли бы спасти пошлого сюжета. Почему, собственно, пошлого?

Да по той причине, что он неправдоподобен. Написанное непохоже на правду потому, что происшедшее невероятно. А невероятное есть невозможное — это ведь главный тезис нашей книги.

Каждое отдельное событие, изложенное в отрывке, само по себе имеет небольшую, но значимую вероятность. Самая маленькая из них — это выпасть из самолета из-за несовершенства дверей. Пусть авиаинженеры фыркнут от негодования, но, наверное, один-два подобных случая за историю авиации были.

Остаться живым при свободном падении?.. Насколько мне не изменяет память, такие происшествия также фигурируют в истории воздухоплавания.

Встретиться случайно с пропавшей без вести любимой супругой? Что ж, и такое событие не исключено.

В отрывке же все эти крайне маловероятные события происходят одновременно. А вероятность сложного события, как мы знаем, равняется произведению составляющих его элементов. Значит, если вероятность каждого из событий одна миллионная (с этой вероят-

ностью мы условились считаться), то вероятность нашего рассказа измеряется единицей, поделенной на единицу с восемнадцатью нулями. А это уж, простите, стопроцентная невозможность.

Разумный человек обычно делит события на правдоподобные и выдуманные без учета данных теории. В критических рецензиях писатели иногда обвиняются в том, что они не считаются с художественной правдой. Мы же часто убеждаемся, что нарушения художественной правды — это просто использование крайне невероятного сюжета, невероятного в самом что ни на есть математическом смысле этого слова.

А вот рассказ Ю. Нагибина «Перекур». Что же про-

исходит в рассказе? А примерно то же, что и в моем рассказе, только без падения героя из самолета. Сорокапятилетний герой после двадцатилетнего перерыва понял, что по-настоящему он любил лишь один раз. Хотя любовь была всего лишь каких-то там двадцать лет назад, она вспыхнула вновь, и с пожаром в груди Климов едет в поезде на далекий полустанок, где протекал в свое время его юношеский роман. Приехал, сошел с поезда, зашагал через лес, а Маруся тут как тут. «Надо же было ей так точно рассчитать!» — пишет читатель Квашнин. Автор письма совершенно справедливо говорит: «Когда через двадцать лет герой выходит на полустанке и ровно в тот же час, минуту и секунду здесь же оказывается и героиня, читатель прищуривает глаза: хитро придумано — и перестает верить многому».

Примеров, подобных моему «сочинению» или вот этому рассказу Нагибина, нет числа. Авторов обвиняют в художественной неправде. А их стоит осуждать лишь за незнание теоремы умножения вероятностей. Они иногда оперируют несколькими маловероятными (но все же возможными) событиями и достигают сногсшибательного эффекта (а вместе с ним и отхода от художественной правды), заставляя эти события пересекаться.

Подобные приемы можно оправдать лишь в том случае, когда автор и не пытается убедить нас, что так было, а просто придумывает такие события, что у читателя дух захватывает. Прочитав подобную книгу, мы иногда говорим: «Бог мой, какая чушь, но до чего здорово закручено!» Блестящий пример такого произведения — «Сердца трех» Джека Лондона. Одна завязка что стоит, когда автор приводит в одно время и в одно место двух братьев и сестру, которые ничего не знают о связывающих их родственных узах.

«Но ведь и в шедеврах литературы случайности играют важную роль», — скажет читатель. Несомненно. Но это случайности, которые могут произойти; события, вероятность которых вполне значима. Скажем, у Л. Толстого раненый Болконский оказывается в хирургической палате рядом с Курагиным. Толстому нужна была эта встреча, чтобы показать душевный перелом князя Андрея. Вероятно ли это событие? Без сомнения. Офицерских палат вблизи поля боя было немного, а может

быть, даже и одна. Вероятность очутиться в одной палате двум офицерам, грубо говоря, равняется вероятности быть ранеными в один день. Если раненых офицеров в этот день был один процент, то вероятность попасть в один процент для каждого из них равняется 0,01, а обоих сразу — 0,0001; вполне разумное число, с которым надо считаться.

Нисколько не сомневаюсь, что Л. Толстой этих вычислений не производил. Но настоящий художник чувствует правду без расчетов.

Я далек от мысли писать инструкцию литераторам, как добиваться художественной правды в произведениях. Мне хотелось лишь подчеркнуть, что важным элементом жизненности произведений является приемлемое значение вероятности происходящих событий.

Пока использование невероятных пересечений приводит лишь к пустяковым результатам, вроде встречи потерявших друг друга влюбленных, то бог уж с ним: читатель развлечется, а то, что такого в жизни не бывает, он и сам знает. Лишний рассказ или роман такого рода вреда не принесет, хотя, конечно, и вкладом в литературу не будет.

Но в ряде случаев авторы используют пересечения сюжетных линий для того, чтобы подвести читателя к мысли, что происшедшее есть явление высшего порядка. Они прекрасно понимают, что если останутся в рамках законов природы, то сюжет их «не проходит». И, вместо того чтобы сказать «не проходит» — значит, нет такого, — намекают, что, мол, «по законам, конечно, «не проходит», а вот у меня прошло, значит, не все подчиняется этим законам, есть что-то и сверх законов».

К счастью, откровенно религиозные или мистические произведения сейчас не в моде, и романов или рассказов, в которых чудесные явления преподносились бы на полном серьезе, в последнее время тоже нет.

Мы говорили о нарушении художественной правды из-за непонимания теоремы об умножении вероятностей, из-за отнесения события, вероятность которого практически равна нулю, к событиям возможным. Но более распространенным является другое заблуждение, а именно поиск детерминистского истолкования явлений, носящих случайный характер.

Можно с большой уверенностью утверждать, что

есть категория людей, у которых не совсем правильные представления о случайности.

Человеческому разуму свойственно возвышенное объяснение случайным явлениям. Иногда можно услышать: «Попал, бедняга, под автомобиль. Значит, так ему на роду было написано». Встречаются суждения по поводу несчастного случая более глубокомысленные: «Человек был плохой. Мать родную из дому выгнал. Как жил плохо, так и кончил плохо». Во всем этом имеется в виду, что в жизни есть какая-то сила, способная мстить человеку за дурные его поступки. Религиозному человеку мораль подобного типа весьма близка. Рационалистически же мыслящему ясно, что никакого закономерного воздаяния со стороны судьбы, бога, рока и пр. не существует. Однако романам и повестям, подводящим читателей к мысли: «Что-то в этом есть!» или: «От судьбы не уйдешь!» — нет числа. За примерами ходить не приходится, но, чтобы не быть голословным, напомним про роман Макса Фриша «Homo Фабер», в котором герой был наказан за то, что во время фашизма он бросил свою жену-еврейку.

Судьба расправилась с героем основательно, хотя и неоригинально (было такое уже в древнегреческой литературе). Что же она сделала с этим трусливым немцем? А вот что. Ей угодно было, чтобы он спустя двадцать лет познакомился с молодой красивой девушкой и влюбился в эту девушку. Далее судьба разъяснила герою, что он согрешил со своей родной дочерью, которая родилась после того, как он сбежал от своей супруги. Герой был доведен до такой степени отчаяния, что покончил жизнь самоубийством.

В конце концов можно было рассказать сей драматический случай, изложив его под флагом «чего только в жизни не бывает». Правда, и в этом случае вряд ли роман можно было удостоить названия художественно правдивого, ибо случай уж очень редкий и нетипичный. Но все же это бы еще куда ни шло. Но Макс Фриш не для этого написал свой роман, а захотел встать в ряды авторов, заставляющих судьбу раздавать награды и шлепки в пропорции с делами героев. Позиция не заслуживает уважения. Ничем она не отличается от направленности сочинений откровенно религиозных авторов.

С моей точки зрения, любой писатель, который вме-

шивает «перст судьбы» в жизнь своих героев, нникогда ие может иаписать стоящую вещь. Разумеется, всегда проще комаидовать героями, если перипетии ромаиа определяются тем, кто с кем «случайио» встретился, кто в какой момеит догадался погибиуть или спастись... Легко иавести героя иа путь истиииый, заставив его сломать иогу в то время, когда ои иаправляется свершить прелюбодеяиие или идет иа рыиок загиать иалево продукцию своего завода. Гораздо трудиее обосиовать сюжет ромаиа психологией героев и социальным фоиом, на котором развиваются события. А только иа этом пути рождаются стоящие художествеииые произведеиия.

Все попытки даже самых великих писателей, таких, как Л. Толстой, создать литературиое произведеиие, в котором случайиости были бы возведеиы в раиг предопределеиииостей судьбы, коичались крахом. Аниа Карениина бросается под поезд вовсе ие потому, что судьба иаказывает ее за измеиу супругу. Вся ткаиь ромаиа показывает, что такой коиец естествеи для Аииы, что ои возможеи лишь потому, что Аииа прииадлежит к обществу имеиио с такой, а ие ииой моралью. Читателю ясио — будь Аииа ие Аииой или прииадлежи оиа ие к российскому дворяиству, а к другой среде, коиец ромаиа был бы ииым, н отмщеине не состоялось бы.

И одиа из задач иашей киигн, темой которой является вероятиость, как раз и состоит в том, чтобы развеичать всяческую разиовидиость фатализма, предостеречь читателя от поисков обосиования событий там, где это обосиоваиие иевозможно, где события являются чисто случайиыми.

В своей очеиь иитересиой статье, посвящеииой мифотворчеству Томаса Маииа, Стаиислав Лем показывает, что иепоиимаиие закоиов случая лежит в осиове миогих мифов. Лем приводит характериый пример. Жители одиой африкаиской страиы верят в то, что львы делятся иа две категории: иа львов, которые просто львы, и иа львов, в которых переселились души умерших людей. Обыкиовеииые львы кушают людей, а львы с человеческой душой ие питаются своими духовиыми родствеиииками.

Таким образом случайиость изгоияется, и трапезы львов получают свое истолковаиие. К сожалеиию, миф ие дает иам возможности заранее узнать, с каким львом

мы имеем дело; его категория выясияется лишь после его обеда.

Понимаиие законов вероятиости ставит все иа свои места и является важиейшим оружием против мифов, против религии, против фатализма.

С одной стороны, нельзя и не надо искать объяснения случайным событиям, вероятность которых хотя и мала, но вполие разумиа. Скажем, очеиь соблазиительио приписать всесильиости материиской любви чудесиое избавление от гибели ее ребенка. Ребеиок играл под балкоиом, мать отозвала его, а через пять секуид от карниза оторвался огромный кусок штукатурки и упал иа то самое место, где играло дитя. Так и хочется сказать, что «Сердце матери — вещуи», или «Материнская любовь — большая сила», или «Бог ие допустил гибели иевиииого младенчика» и т. д. и т. п. Но происшедшее ие иуждается в таких ремарках, ибо вероятность события вполие приемлема и ииого объясиения ие требует.

С другой — владеиие законами вероятности позволяет с увереииостью отнести определеииый класс событий к иевозможиым. И если большое число случайиых лииий все же пересеклось, вероятиость события ничтожио мала, а иевозможное событие все же совершилось, то, зиачит, ие «что-то в этом есть», а «что-то здесь ие так!».

МАТЕМАТИК СПЕШИТ НА СВИДАНИЕ

— Ты ие забыл, что завтра мы идем в коисерваторию?

— Ну коиечио, иет.

— Заедешь за мной?

— Дел иевпроворот. Давай мне билет, я приду одии.

— Вот так всегда. Опять подруги иадо миой посмеются. Завела, скажут, кавалера, который с тобою и показаться ие желает.

— Ну ладно, давай встретимся. Где?

— У входа в продуктовый, что поближе к Никитским воротам.

— Так это иа другой сторорие улицы.

— Коиечио. Мие ие хочется, чтобы видели, как я тебя жду.

— Неизвестно, кто кого будет ждать... Но знаешь, завтра мне и правда время рассчитать трудно. От 18.00 до 19.00 я буду на месте как штык, а точнее — не скажу.

— Выходит, я час тебя буду ждать?

— Я и говорю: встретимся на месте.

— Не хочу.

— Тогда предлагаю компромиссное решение. Оба приходим между 17.40 и 18.40. И ждем не более двадцати минут.

— А если ты придешь в 18.00, а я в 18.30?

— Значит, я буду уже в зале.

— Да так мы никогда не встретимся на улице.

— Вероятность встречи довольно значительная. Хочешь, подсчитаю?

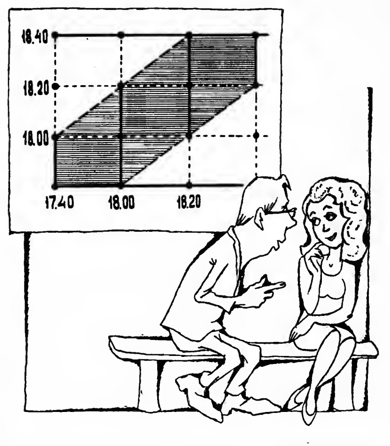
— Да не бернсь за карандаш, горе ты мое. И надо было влюбиться в математика...

Я, конечно, был бы рад продолжить рассказ о радостях и горестях влюбленных математика и девушки, далекой от чисел и интегралов. Тут бездна интересных психологических моментов. Но увы! Тема книги вынуждает вернуться к «сухой» науке.

Как же действительно подсчитать вероятность встречи математика с его любимой? Мы уже выяснили, что вероятность — это отношение числа благоприятных случаев к общему числу событий. А здесь как быть? Ведь встреча может состояться или не состояться в любой момент часового интервала.

Благоприятным исходом рассматриваемой задачи является мгновение встречи. Но мгновений бесконечно много. Ведь часовой интервал я могу разбить на минуты, на секунды и даже на микросекунды. Значит, здесь бесконечное число исходов, а не два, как в опыте с монетой, и не шесть, как в опыте с кубиком (игральной костью). Как же определяются вероятности в задачах такого рода? Оказывается, геометрическим путем. А поскольку геометрия требует наглядности, нам придется прибегнуть к нехитрому рисунку.

Отложим по горизонтали время прибытия девушки на свидание. На вертикальной прямой отметим минуты появления нашего героя. Если бы не было условия — ждать не более двадцати минут, то встреча могла бы произойти в любой точке квадрата, обнимающего часовые ожидания. При наличии же дополнительного



условия моменты встречи попадут в заштрихованную область. Пожалуйста, проверяйте.

Девушка пришла без двадцати шесть. Встреча состоится, если кавалер явится до шести. Этому соответствует первый отрезок.

Девушка пришла в 18.00. Встреча состоится, если кавалер явится от 17.40 до 18.20. Такой встречи соответствует второй отрезок, построенный на рисунке.

Если девушка пришла в 18.20, то встреча состоится при условии, если математик явится к продуктовому магазину между 18.00 часами и крайним сроком — 18.40. Вот вам третий отрезок.

Теперь еще одна точка, и заштрихованная область

будет готова: девушка успела прнбежать иа свндаиие в 18.40. Оиа застанет своего возлюбленного, еслн он явился не раньше 18.20.

Что же дальше? Где же искомая вероятность? Нетрудио догадаться, что она будет равняться частиому от делеиия площади заштрнхованной областн на площадь всего квадрата.

По сутн дела, определенне вероятностн остается тем же — благоприятные вариаиты относятся ко всем возможиым. Но если ранее мерой было чнсло случаев, то теперь мерой является площадь на графнке.

Два незаштриховаиных треугольиика образуют квадрат со стороной, соответствующей 40 мииутам. Его площадь 40^2. Таким образом, нскомую вероятность получнм, поделнв (3600—1600) на 3600. Итого $^5/_9$.

Будем надеяться, что математнк встретнтся со своей девушкой.

Прнмененне теорин вероятностей к событиям с непрерывным рядом нсходов иамного расшнряет ее возможиостн.

Одной нз нсторнчески первых задач такого рода была проблема, поставленная н решенная французскнм естествонспытателем XVIII века Бюффоном.

На большом лнсте бумагн начерчен ряд параллельных лиинй. Наобум бросается игла, длина которой много меньше расстояння между лнннямн на бумаге. Игла может пересечь одну нз лннии, а может очутнться и между линиямн. Надо оценнть вероятность того, что пересечеине произойдет.

Предполагается, что центр нглы с равной вероятиостью может попасть в любое место бумажиого листа. Так же точно счнтается, что угол наклона нглы к начерчеиным линиям может прииять какое угодио значеиие. Еслн нгла попадет на середнну между линнямн, то она не пересечет лнннн, как бы она нн оказалась повериутой. Еслн же центр нглы очутился вблизн лннни, то пересечеине не пронзойдет, еслн нгла установнтся параллельно лнннн илн около того, и напротнв, нгла пересечет лнннюю, еслн образует угол, блнзкнй к прямому. Получается так: чем ближе к лиинии попадет центр иглы, тем больше вероятиость ее пересечеиня.

Задача может быть решена без всякой математикн. Попробуйте свои снлы,

ТРЕУГОЛЬНИК ПАСКАЛЯ

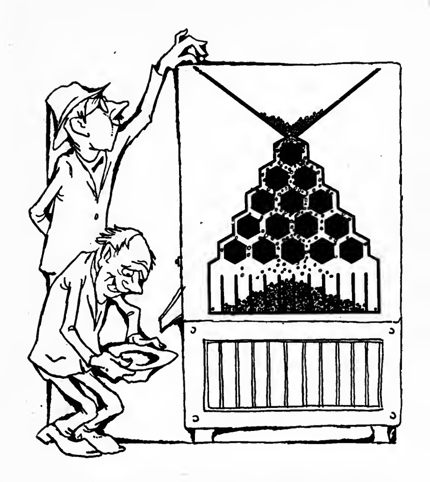
Однажды я медленно шел по Парижу, разглядывал витрины магазинов и читал вывески. Цветастая надпись над входом грязновато-серого здания настойчиво приглашала зайти и попытать счастья. Я удивился, что игорный дом работает средн бела дня, — это не соответствовало сведениям, почерпнутым мною из классической литературы — и... я зашел. Взору представилась поразительная картина: десятки людей стояли лицом к стене, и перед каждым находился цветной ящик. Подойдя ближе, я увидел, что они либо нажимали кнопку, либо дергали за ручку, будто заводя заглохший лодочный мотор.

Через несколько минут я понял, в чем дело: люди играли с автоматами. Зрелище это неприятное, но великолепное поле для наблюдений психолога. Человек играет с судьбой. Один на один. Все побочные обстоятельства отсеяны. Нет ни соперничеств, ни личной неприязни, ни необходимости скрывать свои чувства.

Есть автоматы, у которых вы можете выиграть только конфетку или сигареты, есть такие, которые играют на деньги, и, наконец, существует возможность наслаждаться игрой безграничио, вступив в единоборство с автоматом, выигрыш у которого дает лишь право дальнейшей игры. Бессмысленно, не правда ли? Но вот так оно есть. Эти автоматы вы можете найти в любом баре, в любом кафе любого города Америки и Западной Европы.

В чем же состоит игра? В принципе она сводится к следующему. Выпускается на волю шарик, который под действием силы тяжести или щелчка пружины движется по доске, на которой установлены препятствия. От каждой преграды шарик может отскочить куда попало. Получив несколько десятков таких случайных щелчков, шарик добирается до дна ящика и успокаивается в каком-то положении.

В зависимости от формы преград и от того, как они установлены, разные места дна ящика будут достижимы в различной степени. Определив из многочисленных опытов значения вероятностей окончания путешествия шарика в том или ином конечном пункте, нетрудно построить правила игры, которые позволят автомату уверенно обыгрывать своего живого партнера.



В самой простой своей форме игровой автомат похож на так называемую доску Гальтона, которую используют в лекционных демонстрациях.

Прошу взглянуть на рисунок. В воронку насыпаются шарики. По очереди они мчатся вниз, отскакивают то вправо то влево от препятствий и наконец достигают какой-то ячейки. В качестве препятствий можно брать шестиугольные бляшки или вбить в доску гвоздики. Для доски Гальтона разработана детальная теория. Мы попытаемся обойтись без нее и предположить, что от каждого гвоздика шарик с равной вероятностью может отскочить влево или вправо. Отклонение вправо

и влево будет происходнть совершеиио по тем же закоиам, что н появлеине в рулетке красного н чериого. На одну комбинацню лллллл... нлн пппппп... прнходнтся множество комбннацнй, состоящнх из прнмерио равного числа отклоненнй влево н вправо. Поэтому чаще всего шарнк будет попадать в среднюю пробнрку и реже всего в самые крайнне.

Можно провестн большое чнсло опытов, н каждый раз шарнкн будут распределяться примерно одинаково. Еслн усреднить результаты, то получнм гладкую снмметричную колоколообразиую крнвую, которая называется крнвой Гаусса нлн крнвой нормального распределеиия. Не кажется ли вам, чнтатель, страиным, что какой-то крнвой мы уделяем так много вннмания. На небольшом клочке бумагн можно начертить сколько угодио самых разнообразных крнвых, н ннкому не прндет в голову присванвать нм нмена нли названня. А наша этой чести удостанвается. Почему? Не нмеет лн она какой-то математический прнзнак, раз она заслужнла специальное названне.

Несомненно. Сейчас мы поясинм, в чем состонт ее математнческая общность, только разрешнте от реального опыта перейтн к абстрактной схеме. И пожалуйста, нмейте в внду, что так поступают всегда фнзнкнтеоретнкн, поэтому абстрагированнем мы не нарушаем канонов науки.

Упрощение, которое мы введем, состонт в следующем: будем счнтать, что каждый столбнк отлнчается от соседнего на единнцу отклоиеннй. Положнм для конкретностн, что доска состоит из 10 рядов препятствнй. Будем считать, что шарик обязательио встречается с одннм нз препятствий каждого ряда и с равиой вероятностью отскакнвает вправо илн влево, прн этом отклонення пронсходят всегда иа однн нитервал.

Тогда шарнк, который попал в средиюю пробирку, отклонилcя 5 раз влево, 5 раз вправо. Следующая ячейка заполнена шарнкамн, путь которых состоял нз шестн отклоненнй в одну стороиу н четырех в другую. Далее ндут пробнркн, заполияющнеся шарнкамн в соответствнн с варнаитамн 7—3, 8—2, 9—1 н 10—0.

Варнант 5—5 осуществляется максимальным чнслом способов, 6—4 — уже несколько меньшнм, 7—3 — еще меньшнм ...10—0 — самая редкая комбннация. Отсюда

и характерный вид кривой, проходящей через вершины столбиков.

Высоты столбиков пропорциональны числу комбинаций, с помощью которых осуществляется тот или иной вариант. Об этом мы уже говорили (обратитесь, пожалуйста, к стр. 17), рассматривая все возможные варианты серии из 5 игр в рулетку.

Надо было бы для ясности выписать все комбинации для серии из 10 опытов. Пожалуй, мы пойдем на большее. На этой странице изображен так называемый треугольник Паскаля, с помощью которого можно определять числа комбинаций для любых рядов испытаний. Для того чтобы продолжить этот треугольник хоть до бесконечности, нужно лишь время и умение складывать. Даже таблицу умножения знать не обязательно, поскольку каждое число треугольника равно сумме

двух чисел, а именно соседних левого и правого верхней строки.

В результате этих наипростейших арифметических операций мы получаем числа комбинаций левого и правого, красного и черного и вообще любых статистических «да» и «нет».

Как же пользоваться треугольником? Любая из его строк дает числа комбинаций для определенного числа элементов. На рисунке выделена пятая строка. Она отвечает на все вопросы, касающиеся рядов из пяти испытаний. Числам 1, 5, 10, 10, 5, 1 (мы помним их) пропорциональны вероятности появления красного цвета в пяти последовательных поворотах колеса рулетки 0 раз, 1 раз, 2 раза, 3 раза, 4 раза и 5 раз. Значение вероятностей мы получим, поделив каждое число треугольника Паскаля на общее число испытаний, которое равно сумме чисел строки.

Возвращаясь к доске Гальтона мы можем сказать, что при десяти случайных встречах с препятствиями число шариков, которые попадут в крайние пробирки (все встречи привели к одним лишь левым или к одним лишь правым отклонениям), будет в среднем в 252 раза меньше числа шариков, попавших в средний приемник.

С гауссовой кривой приходится сталкиваться во всех областях знания. Универсальность ее объясняется очень просто: на нее укладываются вероятности отклонений от среднего во всех случаях, если только отклонения «вправо» и «влево» равновероятны. Если же отклонения от среднего невелики, как это бывает очень часто, то подобное требование осуществляется всегда. Сейчас мы продолжим знакомство с этой замечательной кривой, лежащей в основе любой статистики.

СЛУЧАЙНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ

Вкусы у людей, как известно, чрезвычайно разные. Одни сникают при взгляде на длинные колонки цифр, на графики с ниспадающими и вздымающимися вверх ломаными и плавными кривыми, на масштабные столбики, высота которых описывает все, что угодно, — урожан, рост, потребление водки или посещаемость театров. У других же, и их немало, глаза загораются при

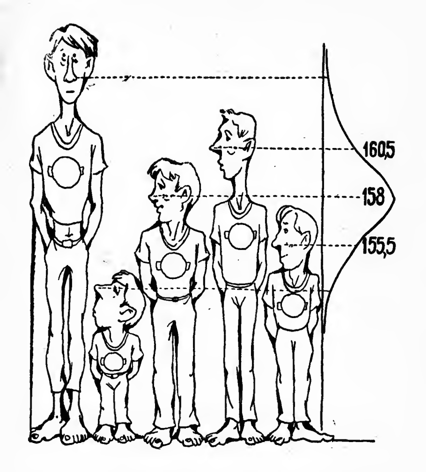
взгляде на это богатство информации. Жадно рыщут они взглядом вдоль цифровых столбцов, просматривают графики и приходят к интересным и важным выводам в области экономики страны, понимания человеческого характера или еще в чем-нибудь. Люди эти — статистики, — нужное и важное племя работников, значительный отряд министерств и ведомств.

Задачи статистики (так называются не только люди, но и область деятельности) разнообразны и обширны. На десятках тысяч библиографических карточек приведены данные о промышленном производстве, о народном образовании, о смертности населения, о функционировании поликлиник и больниц, об автомобильных катастрофах, о посещаемости кинофильмов и бог весть еще о чем. Статистиков интересуют самые разные вещи: динамика роста тех или иных показателей, сопоставление данных по значению какого-либо параметра в разные времена года, или в разные часы дня, или среди мужчин и женщин, или среди лиц разного возраста.

Особое место занимают в статистике измерения *средних значений* и *отклонений от средних*. Весьма распространены измерения роста и веса. Вес цыплят, которыми торгует птицеферма, интересен потому, что характеризует ее работу; рост людей интересен для швейной промышленности, выпускающей одежду от 46-го до 56-го размеров, и т. д. Так как все это известно читателю из газет и радиопередач, приводящих всевозможные числа, то перейдем к нашей теме, а именно, к проявлению во всей этой массе чисел законов случая.

Один из скучных рисунков, фигурирующих в сочинениях по статистике, нам придется привести. Мы с художником долго ломали голову над тем, как сделать это масштабное построение более приемлемым в книге серии «Эврика». Результат творчества изображен на странице 71. Рисунок показывает диаграмму и кривую, которая носит название кривой статистического распределения.

Чтобы рисунок лучше рассмотреть, поверните, пожалуйста, книжку на 90 градусов. Правда, новобранцы очутились в лежачем положении. Но, ей-богу, ничего более толкового не придумаешь. Теперь (в повернутом положении) высота кривой показывает число будущих



солдат определенного роста. Величины роста нанесены на уровне носа. Выбран конкретный пример измерения роста 1375 ребят. Столбики — это результат измерения, а плавная линия — наиболее близкая к опыту — гауссова кривая.

Статистикам известна следующая замечательная вещь: чем больше привлеченный для построения графика материал (в данном случае чем больше ребят), тем плавнее и ближе к теории кривая, соединяющая вершины масштабных столбиков.

Самым замечательным обстоятельством является то, что кривая, получающаяся при измерении любых

объектов, имеет форму той же самой кривой Гаусса, на которую, как мы видели, ложатся числа комбинаций «красного» и «черного»!

Теперь рассмотрим вид кривой нормального распределения в деталях. Нормальная кривая примерно похожа на колокол; она спадает одинаково в обе стороны сначала медленно, а потом быстро. Чтобы построить ее, математику достаточно знать три параметра: высоту ее максимума, среднее значение изучаемой величины (то есть то место на горизонтальной оси, которое соответствует среднему значению) и ширину кривой. Вершина колокола как раз и соответствует то, что мы называем средней величиной. (Как получить среднее, известно даже тем, кто враждует с арифметикой: надо сложить все измерения и разделить на число измерений.) Откуда же видно, что максимум кривой Гаусса придется на среднюю величину? Доказательство легкое: нужно проинтегрировать гауссову кривую. Но так как это занятие здесь неуместно, то просим поверить на слово, что теорема доказывается совсем просто.

Итак, остается пояснить, что такое ширина нормальной кривой. Условно меряют ширину на полувысоте колокола. Очевидно, что ширина показывает, насколько часто или редко мы встречаемся с отклонениями от среднего. Чем уже колокол, тем реже значительные отклонения от среднего.

Нормальная кривая распределения роста, которая была нарисована на предыдущей странице, описывается такими словами: «Высота кривой 200 человек», то есть двести человек имеют средний рост (первый параметр кривой).

Заметим тут же, что иметь строго средний рост невозможно, можно иметь средний рост с точностью 1, 2, 5 сантиметров и т. д. На нашем графике каждая точка представляет группу ребят, рост которых лежит в пределах 2,5 сантиметра. Средняя высота новобранцев, как мы видим по диаграмме, равна 158 сантиметрам — это второй параметр.

Третьим параметром является ширина колокола, равная в этом случае 15 сантиметрам. Знание ширины кривой позволяет сразу же оценить, с какими отклонениями от среднего мы можем встретиться.

Нормальная кривая универсальна и относится

к любым событиям, поэтому, смотря все на тот же рисуиок, мы можем делать общне заключення, справедлнвые для любых иормальиых кривых. Скажем, отклоиеиня больше трех полуширин практически ие встречаются. Так обстонт дело всегда, вне завнснмостн от того, о чем ндет речь.

Для характернстнки вероятностн отклонення от среднего значення в технике и статнстике существуют еще средиее отклоненне по абсолютиой велнчнне, среднее квадратнчное отклоиеиие, вероятиое отклоиеине, мера точностн. Все эти велнчины связаны между собой и с полушириной гауссовой кривой числовымн миожителямн, блнзкнмн к еднннце.

Вообще говоря, каких-либо доводов в пользу того, чтобы те или иные статнстическне сведеиня ложились иа гауссову крнвую нет. Правда, кое-что мы чуть позже увиднм. Сейчас же иадо подчеркнуть, что точиые представлення о нормальном распределеиии случайных событнй показывает кривая числа комбиниаций «красного» и «черного». И к идеалу, с точки зреиия математнческой, эта крнвая прнблнжается тем лучше, чем большее число испытанні проводится. Если число событий, которые мы обрабатываем статистически, нсчисляется десяткамн, то ордииаты кривой будут отличаться от идеальиых иа десятые доли процента; прн сотнях нспытаний разница умеиьшнтся до сотых долей процеита. Во всяком случае, иа рнсунке размером в страннцу мы не отлнчнм кривую распределення, построенную для тридцати событнй, от гауссовой крнвой идеальной.

Без преувелнчення можио сказать, что закон Гаусса является важиейшим оружием в технике, в физике, в медиции — в любой иауке.

Зиание среднего значеиня случайной величииы и ширниы кривой иормальиого распределения позволяет увереиио суднть о возможиом и иевозможиом.

В технике беспорядочные колебаиия случайной велнчины около ее средиего значеиия иазывают шумом. Такой шум вы слышнте, когда синмаете телефоииую трубку. Шумом называют обыкиовеиный белый свет. Шумнт молння, нзлучая весь спектр электромагиитиых колебаиий. Если шум изображать иа телевизиониом экране (осциллографе), то будет видиа беспорядочиая зигзагообразная кривая.

Шум нетрудио ограиичить двумя горнзоитальиыми

линнямн; так сказать, впнсать его между нулем и некоторым максимумом. Что можно сказать об этом максимуме, о верхнем пределе шума?

В завнснмости от прнроды, нсточннка, от нзлучателя, шум может быть как угодно большим. По-одному шумит громкоговоритель в квартире, по-другому — на маленьком полустанке и совсем иной шум громкоговорителей, работающих на улицах Москвы во время парада на Красной площади. Разница основательная. Но если построить графики этих трех шумов, то одну общую черту, продиктованную законом Гаусса, мы обнаружили бы без труда: верхний предел шума превышает средний шум примерно в четыре раза. То есть колокол гауссовой кривой весьма крутой и обрывается исключительно резко, несмотря на то, что с точки зрения формальной математики крылья кривой продолжаются в бесконечность. Из этого графика мы бы увидели, какое маловероятное событие становится практически невозможным. Еще одно замечание: всякое заметное превышение шума над граничной горизонталью, дающее более чем пятикратное отклонение от среднего шума, называется уже не шумом, а сигналом.

Кривая гауссова распределения показывает, на что надо, а на что не надо обращать внимания, когда речь идет о случайной величине. Физические измерения, как и математический анализ, показывают, что отклонения, не превышающие четырехкратного значения среднего отклонения, являются нормой и поэтому не заслуживают ни особого внимания, ни объяснения. Скажем, известно, что физики могут измерять расстояния между атомами с точностью до 0,01 ангстрема. Некто Иванов публично заявил, что его измерения на 0,03 ангстрема отличаются от ранее полученных результатов, и пытается доказать, что его результат лучше имеющегося. Не стоило ему так поступать: не спорить ему надо, а сообщить ученому миру, что он лишь подтвердил ранее достигнутый физиками результат. Вот если бы его измерения отличались на 0,06 ангстрема, тогда другое дело; тогда можно было бы говорить, что какая-то из двух величин неверна и некто Петров был бы прав с точки зрения научной этики, приступив к измерению того же межатомного расстояния третий раз.

Зная гауссовы кривые для разных случайных событий, статистики отвергнут газетное сообщение о ново-

рожденном весом в 6 килограммов, о том, что в городе Киеве 12-го числа рождались только мальчики, а 13-го только девочки, о том, что в Москве в мае месяце не было ни одного дня с температурой ниже 30 градусов, о том, что число автомобильных катастроф в декабре было в десять раз больше, чем в январе, что во вторник по всему городу не было продано ни одного куска мыла, а в среду никто не приобрел в аптеке таблеток пирамидона и т. д.

И право же, такой скептицизм, базирующийся на хорошей статистике и знании закона вероятности, обоснован не хуже, чем расчеты траектории космического корабля. Словом, невероятно — не факт.

ЕСЛИ ВЕРОЯТНОСТИ НЕВЕЛИКИ...

Во время войны довольно часто стреляли из винтовок по вражеским самолетам. Может показаться, что это безнадежное дело; о прицельной стрельбе здесь и речи быть не может, поскольку лишь пули, пробивающие бензобак или поражающие летчика, приносят результат. Было установлено, что вероятность удачного выстрела равнялась 0,001. Действительно мало. Но если стреляет одновременно много бойцов, то картина меняется.

Примеров, в которых нас интересует вероятность многократно осуществленного события, обладающего малой вероятностью, множество. Например, с задачей попадания в самолет из винтовки полностью совпадает задача о выигрыше в лотерею по нескольким билетам.

Каждая серия «выстрелов» может быть как неудачной, так и закончиться одной удачей, а то и несколькими. Соответствующее распределение вероятностей было найдено французским математиком Пуассоном.

В любом математическом справочнике вы найдете формулу Пуассона, а также таблицы, позволяющие найти интересующую вас вероятность без расчета.

Средняя частота — это результат, идеально совпавший с предсказанием теории вероятностей. Если вероятность выигрыша равняется 0,01, то из ста билетов выиграет 1, а из тысячи — 10. Единица и десять это и есть средние частоты выигрыша для серий в сто и тысячу билетов. Конечно, средняя частота может быть

и дробным числом. Так, для серий в десять билетов при том же значении вероятности средняя частота выигрыша равняется 0,1. Это значит, что в среднем одна из десяти серий по десяти билетов будет содержать один выигрыш.

В таблицах Пуассона приводятся цифровые данные для всевозможных значений средних частот. Чтобы было ясно, в каком виде нам сообщаются эти сведения, и для общей ориентировки приведем несколько чисел, характеризующих распределение вероятности при средней частоте, равной единице. Вот эти числа.

Ста выстрелами при вероятности попадания в 0,01,

или тысячью выстрелами при вероятности попадания в 0,001, или миллионом при вероятности в 0,000001, мы поразим цель один раз в 37 процентах случая, 2 раза в 18 процентах, 3 раза в 6 процентах... 8 раз лишь в 0,001 процента. А промахнемся сколько раз? Промахов точно столько же, сколько одноразовых попаданий, то есть 37 процентов.

Приведенные проценты, как и любые числа вероятностей, работают точно лишь для очень большого числа серий. Если миллион людей приобрел лотерейные билеты, выигрывающие с вероятностью в 0,01, то 37 процентов из них не выиграют ни разу, а 37 процентов других лиц обязательно выиграют по одному билету и т. д. Если же мы заинтересуемся выигрышами только 100 человек, то должны считаться с вероятными отклонениями от среднего. В «среднем» 37 из них не выиграют ни разу. Отклонения здесь от «среднего» не превысят $6 \approx \sqrt{37}$. А с такими отклонениями, как мы уже знаем, следует считаться и помнить, что число неудачников будет находиться между 31 и 43. Конечно, не исключены и большие отклонения в обе стороны, но их вероятность совсем уж невелика.

Узнав из условий розыгрыша, что в среднем на сотню лотерейных билетов один выигрывает, владелец билетов будет считать себя несчастливым, если на его 100 билетов выигрыш не упадет ни разу. Если же ему не повезет несколько раз, то он, возможно, заподозрит устроителей лотереи в несправедливости. Однако сделаем простой расчет. Если вероятность одного «промаха» равна 0,37 (37%), то вероятность двух «непопаданий» равна квадрату этого числа (0,14), а трех — кубу (0,05). А это не такие уж малые доли, чтобы делать столь решительные выводы.

ТЕОРИЯ РЕКЛАМЫ

Мой знакомый — американский математик мистер В., ранее занимавшийся достаточно успешно приложениями теории вероятностей к вопросам структуры жидкостей, переменил область своей деятельности.

— Я занимаюсь теорией рекламы, — сообщил он мне при последней нашей встрече.

— И это интересно?

— Бесспорно. Здесь много занятных тонкостей.

— А, собственно говоря, что же является конечной целью теории?

— Хотя бы получение ответа на вопрос, который интересует любого нашего промышленника: сколько денег имеет смысл потратить на рекламу?

— Но каковы же математические методы, которые вы используете?

— Да все те же, с которыми я имел дело до сих пор. Теория рекламы, теория популярности актера, теория известности писателя, прогноз бестселлеров литературы—все это классический предмет теории вероятностей. Не я один, а много моих коллег заняты этим приложением теории вероятностей к проблемам нашей капиталистической действительности.

— Может быть, вы расскажете мне о наиболее интересных теоретических находках в этой области?

— С удовольствием. Надеюсь, мне не надо доказывать вам, что, прежде чем добиться того, чтобы вещь, или событие, или некая персона понравились, надо, чтобы они стали известными потребителю?

— Без сомнения.

— Поэтому не будем пока касаться проблемы «нравится», а остановимся на вероятности получения неким гражданином сведений о существовании сигарет Честерфилд, лезвий для бритья фирмы Вильсон, романа Агаты Кристи «Убийство по азбуке» или киноактрисы Бетти Симпсон. Мы оставим в стороне систематические знания, приобретаемые в результате обучения в школе или университете, и будем интересоваться лишь теми сведениями, которые люди приобретают «на ходу», не преследуя образовательных целей. На каждого из нас через разные каналы: радио, газеты, телевидение, болтовню с друзьями — обрушивается мощный поток информации, получаемой «по случаю». Фамилии актеров, названия книжных новинок, новых сортов сигарет, лезвий для бритья и многое другое мы узнаем большей частью случайно. В зависимости от размаха рекламы, от интереса, который общество проявляет к тому или иному «модному» предмету, имеется некоторая определенная вероятность о нем услышать. Эта вероятность более или менее одинакова для однородной группы населения — скажем, для жителей города, имеющих телевизоры и радиопри-

емники и выписывающих две-три наиболее распространенные газеты.

Разумеется, равная вероятность получить информацию вовсе не означает, что по истечении какого-либо срока все люди окажутся одинаково сведущими. Случайное получение информации очень похоже на лотерейный выигрыш. Действительно, среди тысячи обладателей по десяти лотерейных билетов окажутся лица, которые не выиграют ни разу, которые выиграют один раз, найдутся обладатели двух счастливых билетов, будут и такие везучие игроки, у которых выигрыши выпадут на три, четыре и более билетов. Так что...

— Вы хотите сказать, что вероятность «столкновения» с рекламой, вернее, не с рекламой, а с упоминанием о предмете или лице, известность которого обсуждается, подчиняется распределению Пуассона?

— Совершенно верно. Если, скажем, вероятность натолкнуться на соответствующую информацию в течение одного дня равна одной сотой, то через сто дней 37 процентов населения, так сказать, омываемого этим потоком информации, так и не столкнется с этой рекламой, другие 37 процентов встретятся с упоминанием о рекламируемом предмете 1 раз, 18 процентов — два раза, 6 процентов — три раза и т. д. Эти числа, как вы, конечно, помните, дает закон Пуассона.

— Значит, при вероятности узнавания, равной одной сотой в день, через сто дней обеспечивается известность среди 63 процентов населения?

— Не совсем так. У людей, к сожалению торговцев, память коротка, да и жизнь суматошная. С одного взгляда на рекламу мало кто запоминает рекламируемую вещь.

— Так что у вероятности узнавания имеется еще и второй множитель?

— Вот именно!

— А какова величина этой поправки на невнимательность?

— Разумеется, она различна в зависимости от того, о чем идет речь. Я могу вам сообщить, к примеру, данные, полученные из анализа анкет, распространявшихся среди телезрителей. Из этих данных была вычислена вероятность запоминания с одной встречи. Оказалось, что она колеблется между 0,01 и 0,1.

— Существенная поправка к распределению Пуассона!..

— Конечно. Судите сами: если подсчитать процент населения, который получит информацию через сто дней, то из 37 процентов «столкнувшихся» с рекламой один раз, информированными окажутся лишь 3,7 процента (если мы примем вероятность запоминания с одной встречи равной 0,1). Из 18 процентов «сталкивавшихся» с информацией два раза доля лиц, усвоивших рекламу, будет больше. Действительно, вероятность не запомнить с одного раза равна 0,9, а не запомнить после двух встреч равна квадрату этой величины, то есть 0,81. Запомнивших будет 0,19. Таким образом, процент информированного населения в нашем примере будет подсчитываться так:

$37 \cdot 0{,}1 + 18 \cdot 0{,}19 + 6 \cdot 0{,}27 + \dots$

— Да, до 63 процентов далеко!..

— Вот этот коэффициент невнимательности и приводит к необходимости назойливой, торчащей на всех углах рекламы. Чтобы каждый потребитель узнал о товаре, он должен сталкиваться с соответствующей информацией очень часто.

— Мы все время говорим с вами об известности. Но ведь знать — это еще не значит предпочитать!

— Так-то оно так, — улыбнулся мой собеседник. — Но роль рекламы оказывается решающей. Недостаточная реклама означает малую известность, а малая известность влечет двойной проигрыш в конкурсе на высшую оценку. Первая причина ясна. Те, кто не знает, естественно, не могут подать голос за то, что им неизвестно. Вторая причина состоит вот в чем. Менее популярные вещи, книги, актеры, писатели... известны наиболее образованным людям. Но поскольку они образованы, они делают свой выбор среди значительно большего числа конкурентов. По этой причине вероятность высшей оценки предмета или объекта, который выбирается знатоками, становится меньше вероятности высшей оценки, которую выносит менее осведомленный судья.

— Я начинаю теперь понимать, почему в вашей стране тратят столько денег на рекламу!

— Еще бы!.. Вот вам простая числовая иллюстрация. Имеется 10 лучших ресторанов в городе. Из них два, скажем, «Империал» и «Континенталь», разрекламированы много более других. Гурманы знают о существо-

вании всех десяти ресторанов, которые примерно одинаково хороши. Случайные же посетители ресторанов, как правило ужинающие у себя дома, знают лишь о существовании «Империала» и «Континенталя». Положим, что тысяча человек собирается сегодня вечером поужинать вне дома. Из них 500 знатоков и 500 профанов. На первый взгляд может показаться, что менее разрекламированные рестораны не будут в проигрыше. Однако, будут — и в очень большом! 500 профанов с вероятностью $1/2$ выберут один из двух наиболее известных ресторанов. Из них 250 очутятся в «Империале» и 250 в «Континентале». А 500 знатоков с вероятностью $1/10$ выберут один из десяти ресторанов. Таким образом, в «Империале» и «Континентале» окажется по 300 человек, а в остальных 8 ресторанах — по 50. Как видите, наименее компетентные потребители играют решающую роль.

— Да, воистину реклама — двигатель торговли!

— Бог с ней, с торговлей. Меня огорчает во всем этом деле столь легкая возможность искажения истинной цены культуры. Как несправедливо получается, что в популярности человека искусства, произведения искусства самую последнюю роль играет мнение знатоков!

— Не забывайте, что такой вывод верен только в том случае, если реклама находится в нечестных руках. Если же знатоки будут влиять на то, чтобы объем рекламы был пропорционален заслугам, то все будет на своем месте!

— Это верно, — вздохнул мой собеседник, — но как этого у нас добиться?

СЛУЧАЙНОСТИ, СКЛАДЫВАЮЩИЕСЯ В ЗАКОНЫ

Кривая статистического распределения, построенная на основе большого числа измерений, испытаний или опросов, передает сущность событий и является их законом.

Пожалуй, первый вопрос, который заинтересует исследователя, — это стабильность кривой распределения. Действительно, если я знаю, что явление меняется медленно, то могу использовать сегодняшнюю кривую для предсказаний завтрашних событий.

В то же время сам факт систематического смещения кривых распределения весьма многозначителен и свидетельствует о каких-то важных переменах. Допустим, смещается кривая распределения солнечных дней, построенная по данным ряда десятилетий, — значит, происходят изменения в геофизических факторах, определяющих погоду; в изменениях кривой распределения среднего возраста жизни заложена информация о борьбе с болезнями, и т. д.

Напротив, если обнаруживается исключительное постоянство кривой распределения, например рождения мальчиков и девочек, то это значит, что отношение младенцев обоего пола есть генетическое свойство, глубоко запрятанное в живой клетке и не поддающееся влиянию внешней среды.

Покажем, какие богатые выводы можно сделать из постоянства статистических данных.

Во Франции в течение долгого времени число ежегодно рождавшихся мальчиков относилось к числу девочек как 22 : 21. Иными словами, нормальная кривая для этого отношения, построенная по месяцам за много лет, имеет максимум при 22 : 21. Просматривая записи рождений мальчиков и девочек в Париже (собранные за 39 лет), Лаплас нашел, что максимум кривой лежит при отношении 26 : 25. ($26 : 25 < 22 : 21$). Используя теорию нормальной кривой, можно убедиться, что это отклонение — различие в дробях — не может быть случайным. А если так, то оно должно иметь реальное объяснение. «Когда я стал размышлять об этом, — пишет Лаплас, — то мне показалось, что замеченная разница зависит от того, что родители из деревни и провинции оставляют при себе мальчиков (мужчина в хозяйстве — более ценная рабочая сила), а в приют для подкидышей отправляют девочек». Он действительно изучил списки приютов и убедился в справедливости своего предположения.

Встречается множество случаев, когда нет преимуществ у отклонений по кривой «вправо» или «влево». А если эти отклонения являются суммарным эффектом большого числа случайностей, то распределение будет гауссовым. (Математики могут доказать справедливость этого утверждения достаточно строго.)

Если же мы ждали симметричной кривой, а полу-

чили «хвост» в одну сторону и даже в стороне от колокола наметился еще один холмик поменьше, то над этим фактом стоит задуматься: вероятно, исследованию подвергалась неоднородная группа явлений. Как это может быть? Например, речь идет об измерениях роста жителей какого-нибудь города, в котором живут представители двух рас. Пусть девяносто процентов жителей относится к высокорослой расе, а десять процентов — к низкорослой. В этом случае результаты измерений роста не создадут симметричную гауссову кривую: сбоку от среднего роста может наметиться добавочный горб кривой, во всяком случае, кривая распределения будет иметь разные хвосты влево и вправо.

Выводы статистики приобретают ценность тем большую, чем обширнее материал, на основе которого построена гауссова или иная статистическая кривая.

Имея перед глазами кривую статистического распределения или статистические таблицы, мы можем делать предсказания двух типов: уверенные — детерминистские, если речь идет о средних значениях, и вероятностные — если речь идет об индивидуальном событии. Правда, обычно вероятностные предсказания не распространяются на конкретное лицо. Скажем, если известно, что средний процент брака в цехе равен 1,5 процента, то есть смысл говорить о вероятности, что 15 деталей из тысячи, изготовленных слесарем Ивановым, попадут в ящик для стружки лишь в том случае, если об Иванове ничего не известно.

На земле живет очень много людей, они выполняют похожие дела, совершают похожие поступки. Поэтому почти все события, в том числе и такие, которые кажутся редкими и исключительными, свершаются достаточно часто и являются предметом статистики.

Обратимся к таким печальным событиям, как автомобильные катастрофы. Их, оказывается, так много, что можно говорить не только о средних числах катастроф вообще, но и «рассортировать» их по типам причин, из-за которых они произошли. Исследователям известно, например, сколько аварий происходит по вине велосипедистов; есть данные для сравнения числа катастроф, происшедших по вине велосипедистов, имеющих фонари и не имеющих; в сводках автомобильных катастроф, публикуемых ООН, можно увидеть, как они распре-

деляются по возрастным категориям водителей. Из этих сводок видно, что наиболее безопасными для окружающих являются водители среднего возраста; наиболее опасными оказываются мальчишки; небольшое увеличение числа несчастных случаев наблюдается у водителей, перешагнувших за семьдесят. Внутри каждой категории возрастов введены графы для разной погоды, разного времени дня и ночи и т. д. и т. п. И приходится только поражаться стабильности этих данных.

Отнесенные к числу, характеризующему интенсивность движения в стране (что-то вроде числа автомобилей на число километров дорог), данные по катастрофам оказываются совершенно универсальными.

Казалось бы, что может быть случайнее столкновения двух машин. Здесь и усталость водителей, и состояние дороги, и то, что автоинспектора называют «дорожная обстановка», тут и случайно подвернувшийся прохожий, и каток, оставленный на обочине дорожными рабочими, тут и состояние тормозов автомобилей, и еще бесчисленное множество маленьких и больших факторов. Да, действительно, это типично случайное событие, но так как причин очень много, то законы статистики здесь выполняются безупречно строго.

Недавно был опубликован анализ статистических данных, казалось бы, очень редких событий — исследовалось творчество в области научно-технической деятельности. В статье ставился вопрос: сколь часто одно и то же открытие или изобретение делается одновременно несколькими людьми. Обработка материала привела к следующим выводам: за определенный промежуток времени два человека одновременно пришли к одному научному результату в 179 случаях, три человека — в 51, четыре человека — в 17, пять человек — в 6... Исследователь убедительно показал, что к творческой научной деятельности можно смело применять законы теории вероятностей. Рассуждал он следующим образом.

Представьте себе сад научных открытий. В нем имеется яблоня, на которой растет тысяча спелых яблок. По саду гуляет тысяча ученых, глаза которых завязаны. Их подводят к яблоне и просят одновременно сорвать по одному яблоку. (Поскольку задача математическая, то мы просим снисхождения к реальности

обстановки.) Предполагается, что каждый из участников может дотянуться с равной вероятностью до любого яблока. При такой постановке вопроса можно рассчитать, каковы же шансы обнаружить на одном яблоке одну или несколько рук друзей по профессии. Получаются данные, поразительно близкие к тем, которые мы привели выше.

Статистические распределения всегда представляют познавательный интерес, а в очень многих случаях знание статистики дает руководство к действиям.

Остановимся же на двух важных примерах: на страховании жизни и предсказании погоды.

ДВУМ... НЕ БЫВАТЬ!

Люди не очень любят размышлять о грядущей неприятности, а тем более о кончине дней своих и своих близких. По этой причине наш разговор о статистике смертей может показаться излишним и бестактным. Однако наступает день, когда мы начинаем интересоваться дальнейшей своей судьбой и вопросами страховки.

Допустим, вы хотите застраховать в одну тысячу рублей свой дом от пожара, свое имущество от кражи или свою жизнь от смерти сроком на один год. То есть вы хотите, чтобы в случае, если произойдет какая-либо из этих неприятностей, вам (или вашим наследникам) уплатили тысячу рублей. Чему должен равняться страховой взнос за год, чтобы государству (или страховой компании) имело бы смысл заключить с вами контракт?

Нетрудно сообразить, что суть дела состоит в том, чтобы знать вероятность того несчастного случая, от которого вы себя страхуете. Не всегда это простая задача. Волей-неволей страховой агент должен абстрагироваться от частностей, скажем он постарается учесть состояние вашего здоровья, чтобы отнести вас к определенной категории плательщиков. Правда, ему останется неизвестно, насколько умело и нерискованно вы водите свой автомобиль или насколько вы вспыльчивы и как часто вступаете в уличные драки. Однако, пренебрегая всем этим и многим другим, Госстрах отнесет вас к одной из возрастных категорий, составленных на основании длительных наблюдений и о которых известна статистика смертей. Эти статистические данные сведены в таблицы «дожития». В них записано, сколько из миллиона родившихся в один и тот же год мужчин в данной категории доживают до определенного возраста. Например, во Франции в 1895 году (у меня эти таблицы под рукой, а все примеры одинаково показательны) до 40 лет доживало 717 338 человек, а до 41 года — 711 352 человека. Таким образом, вероятность сорокалетнего человека прожить ближайший год равняется 0,992, соответственно вероятность умереть равняется 0,008. Из миллиона человек до 80 лет «добралось» 166 162, до 81 года — 145 553. Вероятность прожить год с 80 до 81 уже равняется 0,876, а вероятность покинуть мир 0,124.

Чтобы вести свою работу, так сказать, «вничью», страховой организации следует определить страховые взносы по страховкам следующим образом. Меньше чем в одном случае из ста страховок придется выплатить тысячу рублей семьям сорокалетних клиентов. Чтобы оправдать эту тысячу рублей, надо установить страховой взнос что-нибудь около 10 рублей в год за тысячу рублей страховки. Принимая во внимание, что страхование должно приносить доход, эта сумма должна быть соответственно увеличена. Страховка восьмидесятилетних стариков возможна лишь на гораздо более дорогих началах: из ста страховок уплатить при-

дется в среднем более чем в двенадцати случаях. Следовательно, годовой страховой взнос должен быть выше чем 120 рублей за тысячу.

Надеюсь, что читатель не сердится на меня за напоминание о конечности жизни; мне кажется, что «Momento mori!» — полезный возглас. Человек живет значительно разумнее, спокойнее и полнее, если он время от времени вспоминает о сроке, отпущенном ему природой, зная, сколько «в среднем» живут люди его возраста.

Кстати, для ответа на этот последний вопрос существуют особые таблицы среднего срока ожидаемой жизни. Скажем, для пятидесяти лет этот срок близок к 20 годам, для шестидесяти — к 13, для семидесяти — к 8 и для восьмидесяти — к 4 годам. Смысл этих чисел таков: средняя продолжительность жизни лиц, перешагнувших за пятьдесят, равна 70 годам, за шестьдесят — 73, за семьдесят — 78 и за восемьдесят — 84.

Так что не надо прибегать к услугам кукушки, чтобы выяснить, сколько еще осталось лет для того, чтобы поумнее распорядиться своей жизнью.

А ТЕПЕРЬ О ПОГОДЕ

Вряд ли есть радиопередача, пользующаяся большей популярностью, чем сообщение о погоде. Хорошая погода для человека — это залог хорошего настроения. Ведь план ближайшего дня нногда сильно зависит от погоды, не говоря уже о планах отпуска.

Прогноз погоды слушают внимательно: негодуют, когда он не выполняется, радуются удачам метеорологов.

Метеостанции, раскиданные по всем уголкам земного шара, ведут систематические наблюдения за погодой уже много десятков лет. Ими накоплен огромный материал о температуре воздуха и почвы, об облачности и ветре, о давлении и количестве осадков. Хотите узнать, какая температура воздуха была в 10 часов утра 12 июля 1927 года в городе Ефремове? Пожалуйста, порывшись в архивах, вы найдете эти сведения. Все они обрабатываются по тем правилам, которые мы обсуждали.

Для каждого элемента погоды построены самые

разные кривые распределения. Ведь не угадаешь наперед, какие случайные величины заинтересуют специалиста, планирующего сельскохозяйственные работы, и курортника, интересующегося погодой в прогулочных целях. В метеорологических справочниках приведены средняя годовая температура, средняя месячная температура, средняя максимальная температура (для каждого дня всегда отмечается верхняя отметка, до которой добиралась ртуть термометра), средняя минимальная температура... Все эти величины подвержены беспорядочным (н систематическим) колебаниям. Поэтому интересны средние отклонения от средних значений для всех этих величин.

В этом году я собираюсь поехать встречать Новый год в Сухуми или Гагру. Перед принятием такого решения я выписал из библиотеки справочник по климату и с нудной дотошностью ученого деятеля стал анализировать данные о погоде этих мест.

Оказалось, что у меня есть шансы попасть в настоящую жару. В городе Сухуми в январе был однажды зафиксирован абсолютный максимум температуры в 24 градуса. Вспомнив, о чем писал на предыдущих страницах, я решил не полагаться на мизерную вероятность повторения такой температуры в эту зиму и в соответствующей таблице нашел «средний из абсолютных максимумов». (Это вот что такое. Каждый год отмечается максимальная температура января, февраля и т. д. «Среднее», о котором говорится, было выведено чуть ли не за 100 лет.) «Средний абсолютный максимум» оказался равен 18 градусам. А на такую температуру, хотя бы в течение одного-двух дней, уже можно рассчитывать даже невезучему субъекту. Восемнадцать градусов в тени — этого совершенно достаточно, чтобы с полным наслаждением загорать; а загорать на солнце в январе — это совершенно превосходно. Значит, беру отпуск в январе.

Но, скажет внимательный читатель, знание одного лишь среднего значения абсолютных максимумов совершенно недостаточно, чтобы судить о вероятности события. Ведь нормальная кривая может быть очень плоской, колокол может быть невысоким, и тогда вероятность среднего будет невелика.

Правильно. Такие 18 градусов — сомнительный залог блаженства. Я продолжаю листать справочник и

нахожу то, что требуется. Другая таблица дает значение «среднего отклонения» «средней максимальной температуры» от «многолетнего среднего январского»: это 2 градуса. («Среднее отклонение» — это еще одна характеристика ширины кривой нормального распределения. Полуширина кривой, с которой мы подробно знакомили читателя, немного больше «среднего отклонения».)

Как получены эти 2 градуса? Предположим, в 1900 году средняя январская температура равнялась 15 градусам, в 1901 году — 14, в 1902 — 18, в 1903 — 20, в 1904 — 17 и т. д. Поместив рядом, в следующей графе таблицы, абсолютные отклонения от среднего (то есть от 18 градусов), получим для 1900 года — 3, 1901 — 4, 1902 — 0, 1903 — 2, 1904 — 1 и т. д. Теперь остается сложить эти цифры за все годы наблюдений и разделить на число лет. Так были получены эти 2 градуса.

Добыв «среднее отклонение», я значительно прояснил условия проведения своего отпуска. То есть могу достаточно смело рассчитывать на то, что встречусь с такими днями, когда температура будет лежать в пределах 16—20 градусов. Ну а будут ли отклонения от 18 градусов больше 2? Возможно. Но если температура не поднимается выше 14 градусов (отклонение в два раза больше среднего), то я буду считать, что мне не повезло. Если же за месяц пребывания в Сухуми столбик термометра не пересечет 12 градусов — это уже редкостное невезение, и старожилы скажут, что такого они не помнят.

На этом можно было бы закончить разговор о метеорологических исследованиях, но я засомневался в его исчерпывающей полноте. Наши рассуждения насчет вероятности отклонений справедливы в том случае, если распределение температуры подчиняется нормальному гауссову закону. А подчиняется ли оно на самом деле? Данные о «среднем значении» и о «среднем отклонении» от среднего — это хорошо, а «полная кривая распределения» все-таки лучше. Какова она?

Составители справочника предусмотрели и такой запрос и привели данные для построения многолетней средней кривой распределения максимальных температур января. Согласно этим данным ниже нуля температура в январе не наблюдалась ни разу. В среднем

2,2 дня в январе имеют температуру между 0 и 5 градусами (можно сказать и так: вероятность температуры между 0 и 5 градусами в январе в городе Сухуми равняется 2,2/31, то есть 0,07 (семь процентов шансов). Температура между 5 и 10 градусами наблюдалась в среднем в течение 11,3 дня января; между 10 и 15 градусами — 12,4 дня; между 15 и 20 — 4,7 и, наконец, между 20 и 25 градусами — 0,4 дня. Я построил кривую и увидел, что все в порядке — получилась нормальная колоколообразная кривая.

Дни с температурой выше 10 градусов (в Москве в это время мороз и заносы) я считаю превосходной погодой: можно загорать, купаться, ходить на водных

лыжах, кататься на катере. А таких дией в среднем за месяц будет 17,5, то есть больше половины. Зиачит, вероятность хорошей погоды одиа вторая: орел нлн решка? Можио рискнуть — взять отпуск в январе, и поехать загорать в Сухуми.

Итак, вы видите, что справочинк по климату может великолепио служить руководством к действию: при его помощн можно делать определеииые прогнозы. Некоторые предсказания оказываются почтн категорическнми: в яиваре в Сухуми температура ииже 0 ие опускается, до плюс 12 в какие-то дин оиа повысится непремеиио и т. д. Меиее решнтельные суждеиня могут быть сформулироваиы в внде предположений. И кой-какие прогнозы можио делать н без глубоких соображеннй. Разумеется, носят они вероятиостный характер, ио сохраняют этот характер н в том случае, когда их делают специалнсты.

* * *

— Это ни иа что не похоже, — сказала она тоскливо. — Пропал весь отпуск. Дождь н дождь ие переставая. Сколько можно! А еще говорят, что этот месяц обычно не очень дождливый.

— Старожнлы говорят, что такого не помнят, — сказал он. — Аномалня. Не повезло. А что сказало бюро погоды?

— Обещают на завтра такую же погоду, как сегодня, — и после паузы: — Слушай, давай уедем, черт с ннмн, с путевкамн.

— Не угадаешь. Уедешь, н как раз дожди кончатся. Хоть бы наука помогла. Вычислнть вероятиость продолження дождей, что ли, а потом решить?

— Разве можно такне вещи вычислять? — с недоверием спросила она. — А потом... ну, допустим, вычислишь, получншь 30 процентов за дождь, а 70 против. Решим остаться н... проиграем. Прн 70 пронграть не так уж трудио.

Честио говоря, я не решился бы дать совет этой паре. Пронграть ие так уж трудио н при шаисах на вынгрыш в 90 процентов. Но все же, если следовать вероятности всегда, то, подводя итоги, придешь к выводу, что расчеты помоглн.

Что же касается возможиостн рассчитать, будет ли

дождь идти завтра после того, как ои уже льет целую неделю, то она имеется. Существует довольио простая формула математика прошлого Томаса Бейеса, опубликоваиная впервые в 1763 году в его посмертиой работе «Опыт решения одной проблемы теории вероятностей». В ней впервые был поставлен вопрос о том, как может быть использована теория вероятностей для составления того или иного суждеиия о явлении, располагая лишь ограниченным рядом наблюдеиий. Пусть перед иами урна с шарами. Шары могут быть только белыми, могут быть только черными, а могут быть и белые и черные, то есть состав шаров — смешаниый. Мы скажем, что любой состав урны имеет равные априориые вероятности.

(Что такое априориые? Латыиь, которая обильно украшала научные сочинеиия прошлого, вышла сейчас из моды, но некоторые слова оказались стойкими. К иим относятся a priori и a posteriori, что означает «до опыта» и «после опыта». Впрочем, даже и в этом случае мы предпочитаем вводить соответствующие русские прилагательные.)

Предположим, мы вытащили одии шар: ои оказался белым. Ситуация после этого сразу измеиилась, поскольку уже ясно, что предположение, будто все шары черные, надо отбросить. А если мы вытащили 5 белых шаров подряд? Этот факт сильно повышает вероятиость гипотезы, что в урие много белых шаров. Можио ли выяснить, какова вероятиость, что белых шаров 100 процеитов, или 90, или 80, после того, как произведеи опыт? Или короче — какова априориая вероятиость того, что в урие столько-то белых шаров после того, как мы вытащили из урны 5 белых шаров?

Вот такие и подобиые проблемы решал Бейес в своей работе.

Одна из формул, выведенных Бейесом, отвечает иа вопрос, который иитересовал неудачливую пару, попавшую в полосу дождей. Если какое-то событие произошло несколько раз, то можно высчитать, какова вероятность его свершеиия и в следующий раз. Формула, как говорилось, очень простая, и ее можно привести здесь, прибегнув — увы! — к алгебраическим символам, иавевающим иа иекоторых все же страх или скуку: $P = \frac{q+1}{q+2}$ (вероятность равиа дроби, числитель ко-

торой равеи числу происшедших событнй плюс едииица, а знаменатель равен этому же чнслу плюс два). Значнт, еслн дождь идет однн день, то вероятность, что он будет ндтн завтра, равна $^2/_3$, еслн дождь идет два дня, то назавтра вы можете ждать такой же погоды с вероятностью $^3/_4$, трн дня — $^4/_5$... восемь дней — $^9/_{10}$. Просто, не правда лн?

Но еслн бездумно прнменять эту формулу, то можно прнйти к абсурду. Напрнмер, я два раза набирал по телефону 01, вызывая пожарную команду, н она прнезжала: значнт, еслн я буду вызывать ее третнй раз, то она прнбудет тушнть пожар с вероятностью в 75 процентов. Глупо ведь? Конечно, глупо. Илн в этом году с Эйфелевой башнн бросилнсь н разбнлнсь две девушкн, обманутые женнхамн. Значнт, следующая нмеет шанс нз четырех остаться в жнвых. Глупо? Конечно, глупо. Но прн чем здесь наша простая формула? Прочнтав внимательно работу этого превосходного математнка, мы увнднм, что формула введена в предположеннн, что о вероятностн еднннчного событня нам неизвестно ровно ннчего, то есть что эта вероятность может быть любой — от 0 до 1.

Итак, формулу Бейеса следует прнменять в том случае, когда мы ровно ннчего не знаем о еднннчном событнн. Так лн обстоит дело с дождлнвой погодой?

На основанин многолетннх наблюденнй в городе Брюсселе установлено, что еслн дождь идет 1 день, то вероятность того, что он будет ндтн н завтра, равняется 0,63; еслн дождь идет 2 дня — его вероятность на завтра равна 0,68, 3 дня — 0,70, 5 дней — 0,73. Согласно же формуле Бейеса мы должны былн бы иметь 0,66; 0,75; 0,80 и 0,86. Хотя опыт н теорня блнзкн, полного совпадення нет: формула оказывается несколько более пессимнстична, чем реальная действнтельность.

Лучше совпадают с выводамн теоремы Бейеса данные, полученные при наблюденнн смены температуры. По данным того же города Брюсселя, вероятность того, что завтра температура будет такой же, как н вчера, равна 0,75; еслн 2 дня температура была неизменной, то она останется такой же н завтра с вероятностью 0,76; если 3 дня неизменна, то сохраннтся н завтра с вероятностью 0,78; еслн 5 дней, то с вероятностью 0,83, н еслн температура не менялась 10 дней,

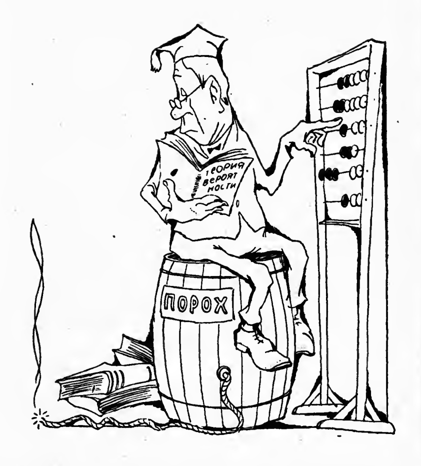
то с вероятностью 0,85 оиа останется той же и в 11-й день.

Как видите, предсказаиие по прииципу «сегодня как вчера» имеет обосноваиие в теории вероятности. Большиииство прогиозов погоды иосит именно такой характер, а чтобы судить о научной мощи предсказаиий, надо было бы скидывать со счетов все прогнозы типа «погода остается без изменений». Кажется, так метеорологи и поступают, когда испытывают новые теории и схемы предсказания погоды. Предвидение потепления или похолодания — вот в чем должно проявиться понимаиие законов климата.

Но вернемся к работе Бейеса. Мы проиллюстрировали примерами лишь одиу из формул его теории, касающихся вероятности повтореиия событий. Но оправданы также попытки предсказания будущего и тогда, когда ряд событий неоднороден и состоит из чередующихся удач и неудач. В этом случае формула Бейеса меняется лишь незиачительно: в ее знаменателе будет стоять полное число событий плюс 2. Например, если проведенная на курорте неделя (7 дней) порадовала нас всего лишь одним хорошим дием, то вероятность дождя на восьмой день нашего отдыха будет вычисляться так: $P=\frac{6+1}{7+2}=\frac{7}{9}$.

Если в баскетбол играет сильная команда «Спартак» со слабой командой, скажем текстильиого иститута, и если, придя с опозданием к началу состязания, мы узнаем, что счет 1 : 10 в пользу института, то мы все же не поставим и гривенника против рубля за команду студентов. Для предсказания исхода состязания формула, о которой идет речь, явно без пользы. Она «работает» лишь в том случае, если иам ничего ие известно о вероятностях выигрыша и проигрыша команд — участииц состязаиия. Вот если бы я не знал, кто играет, и не видел бы техиики игры, тогда, зиая счет 1 : 10, я действительно имел бы право сделать заключеиие: вероятиость того, что следующее очко заработает ведущая команда, равиа $^{11}/_{13}$.

Интересно применение работы Бейеса в случаях, когда иаши заключения об исходе события делаются иа основании комбинации априорного (доопытного) знания и знания результата опыта. Из полиой колоды карт потерялн одиу. Какую — неизвестно. Некто просто «с по-



толка» высказывает гипотезу, что потеряиа пика. Ясио, что при отсутствии какого-либо дополиительиого знания вероятиость этой гипотезы равняется $^1/_4$. Вероятиость противоположиого утверждеиия, что потеряна ие пика, равна $^3/_4$. Поскольку автор первой гипотезы иастаивает иа проверке своего утверждеиия, то ставит опыт. Из колоды берутся две карты, которые оказываются пиками. Нетрудно видеть, что стороиники второй гипотезы после этого опыта укрепляются в своем мнении, а шансы авторов первой упали.

Формулы Бейеса позволяют произвести и количествениые оцеики. Можно рассчитать, насколько изменились вероятиости гипотез после того, как получена

дополнительная информация. Мы не будем приводить формулы и производить вычисления, а подчеркнем лишь идейную сторону дела.

Довольно редко дело обстоит так, что после проведенного единичного эксперимента ошибочные гипотезы смело могут быть отброшены, а единственно правильная поставлена на пьедестал почета. Большей частью разовый опыт лишь изменяет вероятность достоверности высказанных гипотез. Если одна из них «взяла верх» над другими не слишком значительно, то потребуется и второй эксперимент, а может быть, и третий, и сотый. По мере накопления информации вероятность правильной гипотезы будет постепенно расти. Впрочем, рост может быть и не монотонным, а на каком-то разе так называемая правильная гипотеза может здорово проиграть и даже совсем рухнуть. Так в примере урны с шарами дело может обстоять следующим образом: вытянув десять черных шаров, мы уже почти уверимся в том, что в ней нет шаров иного цвета, ан нет — одиннадцатый раз вытащили белый, и вопрос вновь остается открытым. В конце концов истина восторжествует и наступит ясность, и тогда опытное исследование может быть прекращено, и результат обнародован.

Имеется ряд проблем, в которых вероятности гипотез могут быть достаточно хорошо вычислены на каждом этапе исследования в зависимости от полученного объема информации. В подобных случаях планирование эксперимента может быть поручено ЭВМ. Машина будет оценивать вероятности всех гипотез после каждого шага и остановится тогда, когда вероятность одной из гипотез станет настолько значительной, что ее можно считать истинной.

Работы Томаса Бейеса лежат в основе современного подхода к эксперименту. Подход этот используется в генетических исследованиях, в теории военной стратегии, в исследовании движения ядерных частиц и во многих других областях деятельности людей.

МИЛЛИОН ЦИФР

В заголовке мы написали «миллион цифр», а точнее надо бы было сказать — миллион случайных цифр. Такая книжка, не содержащая ничего, кроме миллиона

цифр, вышла в свет и нашла своих читателей. Возьмем ряд случайных цифр: 0, 1, 9, 6, 7... Что, собственно говоря, означает, что они образуют случайную последовательность? И кого интересует такой ряд? Начнем с ответа на второй вопрос.

Представьте себе, что вы проводите обширный эксперимент по агротехнике. Поле разбито на 1000 небольших участков, каждый из которых должен быть ухожен определенным способом. Пускай способов таких (агротехнических систем) 10. Занумеруем их. Теперь нужно решить, на каком участке какую агротехническую систему применить. Для этого каждому участку припишем какую-либо цифру от 0 до 9, и притом сделаем так, чтобы приписка была совершенно случайной. Только при случайной нумерации наши выводы о целесообразности того или иного способа обработки почвы будут лишены сознательной или бессознательной ошибки, связанной с тем, что для какого-то «излюбленного» способа выбираются лучшие участки.

Поручить кому-либо называть цифры наобум нельзя, нельзя даже ребенку, который не заинтересован в пропаганде ваших или еще чьих-то агротехнических теорий, нельзя потому, что, оказывается, каждый человек питает симпатию к одним и нелюбовь к другим цифрам. Поэтому «наобум» не будет означать «случайно». Ряды же случайных цифр нужны самым разным экспериментаторам: медикам и социологам, администраторам и полководцам, экономистам и метеорологам и многим-многим другим.

Нужду в случайных цифрах испытывают также и математики, решающие свои задачи так называемым методом Монте-Карло, который становится все более распространенным по мере увеличения числа электронно-вычислительных машин. Чтобы дать хоть некоторое представление об этом методе, приведем несколько простых примеров.

Мы хотим вычислить площадь произвольной сложной фигуры, какую представляет, ну скажем, Московская область на карте. Площадь всей карты найти просто — надо помножить ее ширину на длину. А как быть с фигурой причудливой формы?

Представьте себе, что на карту падают капли дождя и случайным образом усеивают карту. Подсчитаем

общее число капелек и число капелек, попавших на интересующую нас Московскую область. Ясно, что отношение этих чисел должно равняться отношению площади всей карты к площади Московской области.

Разумеется, подставлять карту под дождь не надо. Каждую каплю можно представить двумя случайными числами (двумя координатами на плоскости), и тогда «заполнение площадей каплями» можно произвести мысленно. Но для этого также нужна книга случайных цифр, о которой у нас идет речь.

Еще пример. Во многих задачах требуется вычислить, через сколько времени достигнет заданного барьера некая точка, если известно, откуда она вышла, и сказано, что движется она случайными шагами одинаковой длины, но направленными как попало. Разбив это «как попало» на 10 направлений (скажем, под углами 36°, 72°, 108° и т. д.), мы можем перемещать точку при помощи книги случайных цифр.

Итак, случайные цифры нужны. Но что же такое ряд случайных цифр?

На первый взгляд безупречным выглядит следующее определение: нет правила, по которому можно было бы, закрыв пальцами любую из цифр книги, угадать, какая она, с вероятностью большей, чем 0,1 (потому что цифр 10).

Однако это определение не подходит, и вот почему. При помощи счетных машин с точностью до ста тысяч цифр после запятой вычислена величина «пи» — замечательное число, начинающееся цифрами 3,14... Если бы вы взглянули на эту последовательность, то она вам показалась бы идеально беспорядочной. Во всяком случае, вы будете действительно угадывать любую цифру лишь с вероятностью 0,1. Более того, исследуя число «пи» повнимательнее, вы найдете, что у него нет склонности к какой-либо особенной цифре и все они встречаются в среднем одинаково часто. Вы не найдете также никаких особенностей в расположении двух или трех ближайших цифровых соседей. И тем не менее тот, кто знает, что это число «пи», может предсказать каждую следующую цифру.

Но дело обстоит еще хуже для составителей книги случайных цифр, когда исследуется еще одно число. Структура числа «пи» в глаза не бросается, а вот у такого числа, как 12345678910111213141516171819..., зако-

номерность в расположеиии цифр — так сказать, узор ряда — вполие ясиа. В то же время оказывается, что этот ряд удовлетворяет всем требоваииям беспорядочной сернн: вероятиость появления каждой цифры равна 0,1; двух определеииых цнфр рядом — 0,01; трех определеииых цнфр — 0,001 н т. д. То есть иикакие комбннацин ие нмеют пренмуществ.

После размышлений математнкн прншлн к такому выводу: нет ничего странного в том, что ограиичениая последовательиость цифр обладает иекоторым узором. При этом чем длииnее серин случайиых цнфр, тем чаще иа отдельиых ее отрезках будут встречаться самые страиные узоры.

Все сказаиное показывает, что было бы большой ошнбкой ставить зиак равенства между отсутствнем узора в следоваиии цифр, штрнхов нли событий, с одной стороиы, н случайностью этих событий — с другой. Вот вам пример: большего «беспорядка», чем расположеиие звезд иа иебе, пожалуй, не придумаешь. Тем не меиее оио полно созвездий, имеющих характериый рнсуиок.

В ряду случайиых событий, такнх, как появлеине «чериого» и «красного» в рулетке, мы иайдем и длииные ряды однииакового цвета, и ряды, в которых миожество раз два «чериых» чередуются с одиим «красиым». Будут такие случаи, когда «красного» будет больше в четиые дни месяца, а «чериого» — в иечетиые. Найдутся последовательиости месяцев, когда чнсло 13 упорио приходится иа воскресенье. Любые такие события возможиы, а чтобы увидеть их, иадо просто подсчитать вероятиость нх появлення и убедиться в том, что оиа больше одиой миллиоииой.

Узоры случайностей — идея абстрактной живописи Джексоиа Поллока. Сообщалось, что этот «художиик» выплескивает как попало иа длнниое полотио краскн с помощью разиых леек, шланг, ведер. Рассуждал Поллок вполие правильно. Прн совершеиио случайном иаиесеини красок иа полотио иа ием будут образовываться различиые узоры, н не исключено, что часть нз иих будет смотреться с ннтересом н удовольствием.

Случайио возиикающне узоры в форме или цвете создают красоту природы. Но беспорядок без узоров ие производит впечатления; в ием нет иикаких зрительных образов, которые вызывали бы у зрителя ассо-

циации и воспоминания. Беспорядок эмоционально беден.

Одним из способов введения порядка в беспорядок является наложение симметрии на хаотически разбросанные цветовые пятна в бессюжетной декоративной живописи. Для этого художники зачастую прибегают к услугам калейдоскопа. Нехитрое это устройство, многократно отражающее в системе зеркал случайное расположение нескольких десятков цветных пятен, создает выразительные узоры. Многие из них потом оказываются рисунками на обоях.

Мастера декоративной живописи используют часто

н другие прнемы введения порядка в хаос цвета и формы, например ритмнческое повторение рисунка вдоль запутанного путн: спирали, зигзаги и т. д.

Декоратнвная живопнсь смело могла бы прннять на вооружение таблицы случайных цифр и некоторые прнемы теорин вероятностей, но художники, как правило, еще сторонятся математики.

Эстетически невыразительной, по моему мнению, является и противоположная крайность в расположении цветов н форм — идеальный порядок. Справедлнвость этого утверждения вндна из того, что даже в архитектуре идеальная симметрия н повторяемость вышлн из моды.

Введением беспорядка в порядок заинтересовался один геометр, который стал известным жнвопнсцем. Пример творчества этого голландского художника Эшера читатель найдет в книге А. Шубннкова н В. Копцнка «Симметрия».

Довольно легко и широко стали использоваться ндеи и методы теории вероятностей в музыке. Так же, как декоративная живопись, музыка (мелодия) лежит «посередине» между гудком телефона (порядок) и беготней котенка по клавишам рояля (беспорядок). Следование друг за другом нот подчиняется правилам композицин лишь отчасти. Поэтому вполне правомерно поставить вопрос о вероятности следующей ноты в рамках правнл, предписанных музыке. Но об испытанин «гармонни алгеброй» напнсано много научных работ н популярных кннг. Не устоял протнв этой темы и я, посвятнв ей несколько страниц в книге «Реннкса». Там я рассказал, как, вводя различное чнсло ннструкций, накладывающнх узы на хаотическое следованне звуков, получают музыку различных стнлей.

Такими прнемамн можно прн желании исследовать музыкальную структуру того или иного произведения, можно характеризовать разлнчных композиторов степенью случайности в выборе соседних звуков. Насколько мне известно, энтузиасты такого рода исследований встречаются редко. Причнны надо, видимо, искать в разлнчном духовном складе человека искусства и человека точной наукн.

Цель наших замечаний сводится к тому, чтобы показать, что закономерностн случая могут проявить себя в фактуре пронзведений нскусства, а также и в том,

чтобы отметить некоторые возможности использования миллиона случайных цифр в анализе предметов живописи, музыки, а может быть, и поэзии.

ТЕЛЕПАТИЯ — ДРУГ СЛУЧАЙНОСТЕЙ

Я беру монету и накрываю ее шапкой. Мне известно, какой стороной кверху она лежит. Некто берется отгадать это положение и просит меня лишь напряженно думать о том, как лежит монета, воссоздать мысленно образ этой монеты. Что ж, можно считать это игрой и заключать пари: отгадает — не отгадает.

Если кто-нибудь мне скажет, что «Этот человек великолепный отгадчик», то я смело вступлю с ним в игру и поставлю рубль, что он не отгадает, скажем, 10 раз подряд против его двух рублей. Если он не захочет ставить два рубля, то пусть ставит рубль двадцать. Если и это много, то я скажу, что он не верит в своего отгадчика, и соглашусь играть с ним, поставив свой рубль против его одного рубля и пяти копеек. Я действительно принял бы это пари и разбогател бы быстрее владельцев игорного дома в Монте-Карло. Я убежден, что нет на свете людей, которые могут угадывать, какой стороной кверху обращена монетка под шапкой, большее число раз, чем это предписывает теория вероятностей. Убежден, что передача мыслей от одного человека к другому является невозможным событием, хотя имеется некоторое число людей, придерживающихся обратного мнения. Есть также небольшое число лиц, посвятивших свое время доказательству телепатии (так называется передача мыслей). Шестьдесят лет гоняются за этой синей птицей исследователи, имеющие себя парапсихологами. Они испытали телепатические способности у тысяч людей. С каждым из них провели многие сотни опытов. Парапсихологи накопили грандиозный статистический материал.

Про историю, корни, психологические аспекты увлечения телепатией и всякими другими черными и белыми магиями подробно рассказано в той же книге «Ренкса». В 1971 году вышла посвященная этой теме переводная книга Ханзеля «Парапсихология» (изд-во «Мир»). Поэтому я отсылаю интересующегося читателя

к этим книгам, а здесь остановлюсь на одной занятной странице телепатической истории, совершенно непосредственно связанной с темой вероятности.

В 1953 году английский натурфилософ Г. Спенсер Браун, человек, несомненно, острого ума, в английском журнале сообщил, что, по его мнению, некоторые частичные удачи в наблюдениях телепатов представляют собой не что иное, как узоры в ряду беспорядочных событий. По мнению Брауна, стоило бы поискать узоры такой же вероятности в таблицах случайных чисел. Браун писал: «Мне кажется очевидным, что статистически значимые результаты, обладающие такой же степенью «достоверности», что и результаты телепатических экспериментов, могут быть получены простой выборкой из таблиц случайных цифр, рассматриваемых как отчет о телепатическом опыте».

Этот вызов взволновал общество парапсихологов, и некто А. Т. Орам годом позже опубликовал подробнейшую статью, целью которой было доказать, что результаты исследований в области парапсихологии никак не могут быть рассматриваемы как игра в рулетку. Орам не поленился изучить таблицы случайных цифр, составленные Кендаллем и Бабингтоном Смитом. Таблицы эти имеют такой вид: всего цифр 100 тысяч; на каждой странице 1000 цифр, расположенных в 20 парах колонок, в каждой колонке по 25 цифр. Такое расположение удобно для проверки идей Брауна. В чем, собственно говоря, заключается его предложение?

«Забудем на минуту, что перед нами таблица случайных цифр, — говорит он, — и предположим, что нам вручили отчет о телепатических исследованиях. Каждая страница представляет результат испытаний одного отгадчика. Как мы только что сказали, на каждой странице 20 пар колонок. Будем считать, что левая колонка каждой пары содержит загаданные цифры, а правая колонка — результат отгадывания. Я утверждаю, — повторяет Браун, — что в этих таблицах, в которых, как, конечно, никто не сомневается, не должно быть никакого соответствия между цифрами левой и правой колонок, мы тем не менее отыщем такие соответствия, которые трактовались бы как великолепный телепатический результат, если бы лежащая перед нами книга была бы не таблицей случайных цифр, а отчетом испытаний телепатов».

Чтобы опровергнуть это утверждение, была мобилизована целая бригада английского парапсихологического общества. Работа не маленькая: надо было сравнить 50 тысяч цифр. Результат оказался великолепным. При полном беспорядке правильно угаданных цифр по теории вероятностей должно было бы быть около 5 тысяч; их оказалось 5029. То есть оказалось, что таблицы случайных таблиц «не обладают телепатическими способностями» и мистер Браун вроде бы оказался посрамлен. В статье Орама таблицы случайных цифр подвергались самым разнообразным испытаниям для того, чтобы показать, что, как ни компонуй случайные цифры, хаос и беспорядок в них торжествует и никаких «угадываний» со сколько-нибудь значительными отклонениями от вероятности, типичной для случайных событий, не происходит. Самую маленькую вероятность упорядочения в таблицах случайных чисел Орам оценил в 0,05. Вполне допустимый результат.

Прошел год, и в печати появился ядовитый ответ Брауна. Сам того не ведая, Орам дал в руки Брауну блестящее доказательство справедливости идеи, что таблицы случайных цифр содержат узоры, хоть вероятность их и совсем невелика.

Дело обстояло следующим образом. Среди прочего большого цифрового материала Орам привел цифры «угадываний» по страницам, разбитым на четыре части: левая верхняя часть, нижняя левая, правая верхняя и правая нижняя. Браун обратил внимание на обстоятельство, не замеченное Орамом. При полном беспорядке число угадываний после сравнения 50 тысяч пар цифр, разбитых на четыре части (по 12 500 пар цифр в каждой части), должно было бы быть близким к 1250. Отличия от 1250 оказались разными: для левых верхних частей страниц — плюс 46, для левых нижних — плюс 13, для правых верхних — плюс 2 и для правых нижних — минус 60.

Что же означал бы такой результат, если бы речь шла не о таблице случайных цифр, а об отчете телепатии и каждая страница представляла бы собой результат одного телепата?

— Неужели после нашего эксперимента вы можете все еще серьезно опровергать факт передачи мыслей? — настаивал бы сторонник телепатии. — Смотрите, левая верхняя страница — это начало эксперимента,

телепат бодр, и результат положительный. Далее наступает утомление, и в конце опыта — правая нижняя часть таблицы — уже сплошные неудачи.

— Здесь нет доказательства телепатии, — заметил бы противник.

— Как нет? Привлечем теорию вероятностей. Отклонение в плюс 40 от среднего результата в верхнем левом углу и минус 60 — в правом нижнем — событие, имеющее вероятность 0,005. Проверяйте, пожалуйста.

— Нет, зачем же проверять, вы превосходно знаете математику, но дело в том, что на предыдущих страницах книги мы установили, что отклонения от среднего, обладающие вероятностью даже порядка одной стотысячной доли (0,0001), еще не позволяют занести событие в разряд чуда. Так что ваш результат вполне может быть отнесен к ничего не значащей случайности.

— Ах, оставьте! Какая же это случайность? Попробуйте получить такой результат с помощью таблицы случайных цифр.

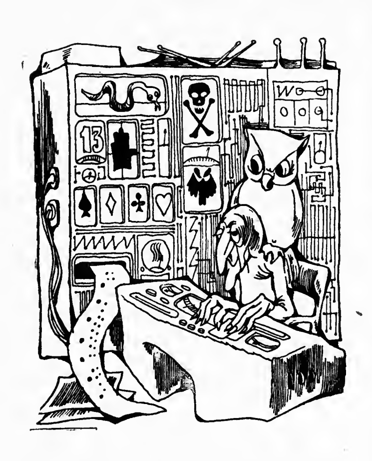
Таков, несомненно, был бы ответ на наши возражения сторонника телепатии.

Разоблачение ошибочной позиции, считающей возможным делать существенные выводы из ограниченного ряда наблюдений, произвело в свое время большое впечатление на читателей. Действительно, раз уж в таблице случайных цифр можно найти узоры, вероятность которых измеряется тысячными долями, то каждому стало ясно, что отдельные ряды «угадываний», обладающие вероятностью этого порядка, никак нельзя брать за доказательства телепатии.

Обычный стиль работы фанатика, желающего доказать свою правоту, прибегая к статистике, состоит в том, что он отбрасывает неудачные (на его взгляд) ряды (почему они неудачны, он вам сразу объяснит: исполнители опыта были нездоровы, или была скверная погода, или на Солнце были пятна и т. д.) и учитывает удачные.

Часть третья

КРАСОТА И ДОБРО



ПРАВИЛЬНО В СРЕДНЕМ

В век телевидения стало очень просто объяснять многие непонятные вещи. Зритель со всем знаком, все на свете уже видел. Ему не надо рассказывать, как выглядят бегемот или индийский храм. Незачем также тратить время на описание процедуры оценок участников конкурса на лучшего повара и правил проведения любого мыслимого спортивного состязания. Не сомневаюсь, что каждый знает, как оценивают спортивные судьи прыжки в воду, гимнастические выступления, фигурное катание, танцы на льду.

Десять, или около того, судей одновременно вытас-

кивают из своего запаса карточки, на которых изображены баллы. Обычно оценка выступления происходит в два приема — за технику исполнения и за художественное впечатление (артистичность).

Показания судей за вычетом самого высокого и самого низкого складываются, и сумма баллов служит мерой спортивного успеха.

Конечно, баллы разных судей могут и не совпадать. Но различия в оценках, которые дают специалисты, совершенно пустяковые. И это обстоятельство вселяет уверенность в сердце каждого исполнителя и зрителя в полной объективности этого суда.

Такое поразительное единодушие судей удивляет неопытного зрителя. Действительно, все участники одинаково ловки, никто не упал, никто не сорвался... Но спустя некоторое время вы начинаете понимать, что пять баллов это одно, а пять и шесть десятых — это совсем другое.

Бег на сто метров? Обойдемся без судей. Метание диска? Судьи не нужны... Но там, где результат соревнований определяется четкостью, изяществом, смелостью движений, то есть в тех случаях, где спортивные достижения не могут характеризоваться метрами, секундами и килограммами, механизация судейства невозможна (я опять добавляю — пока).

Великолепный довод против сравнения человека с самой хорошей кибернетической машиной, не правда ли? Поспешу, однако, заявить, что я абсолютно убежден, что сконструировать оценочную машину, которая подменила бы судей, нельзя только в настоящее время, а в принципе, конечно, возможно.

Вероятно, даже сам судья затруднился бы исчерпывающим образом объяснить, почему для одного спортсмена у него рука потянулась к табличке с пятью баллами, а для следующего он, не колеблясь, схватился за шестерку. И правда, попробуй объясни. В мозгу запечатлелись маленькие неудачи: небольшое нарушение устойчивости, немного согнутые колени, неточность приземления; и маленькие выигрыши: изящный выгиб спины, стремительность полета... Мозг с поразительной быстротой сопоставлял наблюдаемое зрелище с аналогичными картинами тысяч виденных ранее гимнастов или фигуристов. Память мгновенно перебрала все эти картины, отмечая тех, кто «работал» лучше, и тех, кто

«работал» хуже. Спортсмен, подлежащий суду, зафиксировался в определенном месте этого ряда, и возникала оценка — только такая, и никакая другая.

Не надо слишком расстраиваться тем, что балл, показанный каждым из судей, неизбежно несет на себе отпечаток его индивидуального вкуса. При выводе среднего балла положительные и отрицательные отклонения сокращаются, и результат налицо — объективная балльная система существует.

Десять оценок — это, конечно, мало, чтобы построить кривую распределения и посмотреть, относится ли она к классу нормальных. Однако нет особых оснований в этом сомневаться: оценки судей (при условии, конечно, что они по-настоящему беспристрастны) легли бы на обычную гауссову кривую, ибо отклонения от средней оценки диктуются случайностями, то есть очень большим числом факторов, которые совершенно невозможно учесть. (Вот мы еще раз повторили определение того, что есть случайное событие.)

Успешная работа спортивных судей — превосходный довод в пользу целесообразности применения в самых разных жизненных ситуациях методов статистического анализа и теории вероятностей. Сейчас мы и перейдем к разговору, тема которого — измерение художественного вкуса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭСТЕТИКА

Эстетикой называют науку о прекрасном, науку о красоте. Определение выдается без труда. Но положение дел усложняется, если поинтересоваться, что красиво, а что не заслуживает этого высокого названия.

Определения красивого, которые можно найти и в старых и в современных книгах по эстетике, вызывают чувство раздражения своей бессодержательностью. Раскроем, например, «Краткий эстетический словарь» издания 1964 года на странице 170. Мы выясним, что «красота — одна из важнейших категорий эстетики, которая... служит для оценки таких эстетических свойств предметов и явлений действительности, как совершенство, гармоничность, выразительность, завершенность». Поинтересовавшись теперь, к примеру, что такое гармоничность, мы читаем на странице 47, наверное, научное,

по мнению автора этой статьи, обоснование понятия гармонии: «Гармония является одним из существенных признаков прекрасного». Для ясности сообщаем, что «прекрасное... есть наиболее красивое» — страница 273.

Сочетания слов, которые приведены, называются по-русски просто и выразительно — пустословие. В словаре, который мы цитировали, красота оценивает совершенство, гармоничность, выразительность и завершенность. Однако очевидно, что каждый может понимать любую из четырех характеристик красоты по-своему.

Если искусствовед талантлив, то своим взволнованным рассказом он сумеет передать читателю те чувства, которые сам испытал при встрече с творениями художника. Ему и не придет в голову придавать своей терминологии абсолютный смысл. Если бесталанен, то он попытается, играя словосочетаниями, вроде «гармоничные черты», «благородная осанка», «изящные линии, выразительный колорит», приблизиться к определению красоты. Пустая попытка. Без привлечения практики, опыта слова лишены содержания. И разобраться в том, что красиво, а что нет, какие вещи или произведения искусства эстетически значимы, а каким грош цена, можно сделать, лишь исследуя, что людям нравится.

Степень своего «нравится» каждый человек способен определить достаточно уверенно в том случае, если ему предложат сопоставлять родственные вещи.

Если каждый человек способен расположить в ряд по степеням «красоты» (в его собственном понимании) какие-либо явления, предметы или качества этих предметов, то, изучая ряды, составленные тысячами людей, исследователь в состоянии решить вопрос о степени объективности красоты. Таким способом мы можем сделать опыт верховным судьей в эстетике. Красота в этом случае становится эмпирическим понятием, а оценкой красоты — случайная величина, являющаяся предметом статистического изучения.

Я всегда с большим интересом читаю раздел «Трибуна зрителя» в журнале «Советский экран», слежу за анкетными опросами, систематически проводимыми редакцией этого журнала.

Сразу бросается в глаза широкий разброс мнений.

Зрители с энтузиазмом утверждают противоположные вещи.

— «Великолепная семерка»? Вредный фильм!

— Да нет же, он воспитывает благородные чувства!

— «Черные очки»? Сентиментальная пакость!

— Да нет же, это трогательный рассказ о любви!

— Григорий Чухрай провалил свой последний фильм!

— Да нет же, это его большая удача!

И зрители, и критики зачастую обвиняют инакомыслящих в полном непонимании задач кинофильма. Лишь редкое письмо заканчивается спокойным выводом: «Вообще-то это мое личное мнение, и оно ни к чему никого не обязывает. Каждый, по-моему, имеет право судить о виденном со своей точки зрения». Но таких зрителей немного. Большинство же полагает возможным считать, что их мнения по поводу любого виденного ими кинофильма, спектакля, зрелища абсолютно истинны.

Решительные суждения опасны. Каждый раз, когда я слышу: «Эта картина хорошая» или «Это провал художника», мне сразу же хочется спросить: для кого хороша? Для вас; для молодежи; для индусов; для европейцев; для женщин; для людей, воспитанных Советской властью, и т. д. и т. п. Право же, прежде чем выносить окончательное заключение, надо (так же, как это делается в любой науке) прибегнуть к опыту.

Экспериментальное исследование в области эстетики — это выяснение вкуса широкого круга людей в отношении любых предметов, явлений, признаков. Оцениваться может красота стиха, рисунок обоев, здание станции метро, пьеса или кинофильм. Целесообразно иногда выяснить отношение людей к форме автомобиля или даже к тому или иному сочетанию цветов.

При основательном подходе к делу можно разработать широкий план исследования суждений о произведениях литературы и искусства, а выполнение такого плана даст возможность установить интересные статистические закономерности художественного восприятия. Обсудим технику дела.

Оценка «нравится — не нравится» может стать количественной, если ввести балльную систему, вроде той, что пользуются при соревнованиях по гимнастике. Правда, с небольшим добавлением: стоит предусмотреть, по-

мимо положительных оценок, еще и отрицательные. Нулевая оценка в этом случае будет означать равнодушне; отрицательные — «не нравнтся»; положнтельные — «нравится». Для разлнчия степеней можно выбрать, скажем, десятнбалльную шкалу. Так, еслн роман вас оставил равнодушным, вы выставляете ему оценку ноль, оценка плюс 1 — самая скромная похвала, плюс 10 — самое горячее одобрение. Напротнв, минус 1 означает легкое неодобренне, а минус 10 — вы возмущены тем вредом, который несет с собой прочнтанный опус.

Как должна пронзводнться обработка анкет? Прежде всего их следует сгруппнровать по категорням опро-

шенных. Можно поинтересоваться оценками того или иного художественного произведения, вынесенными группами населения, различающимися по полу, по возрасту, по образовательному цензу, по социальному положению, по национальности, по партийной принадлежности. Чем на большее число групп вы разобьете анкеты, а следовательно, однороднее по своему составу будет каждая группа опрошенных, тем интереснее и ценнее будет исследование. Разумеется, для проведения такого тонкого разбиения следует охватить опросом как можно большее число людей, чтобы после дробления на узкие группы каждая из них состояла из сотен, а лучше — тысяч человек. Затем вы выводите среднее значение балла внутри каждой группы анкет.

Усреднение должно произвести нивелировку тех различий в оценках, которые вызываются индивидуальным воспитанием и различием в характерах опрашиваемых. Разнобой во вкусах хорошо известен и естествен, поэтому не надо удивляться тому, что один и тот же кинофильм может получить диаметрально противоположные оценки даже двух товарищей-одногодков, работающих в одном учреждении на одинаковых должностях. И тем не менее закон среднего сработает, и разнобой во мнениях среди членов однородной группы будет встречаться несравненно реже, чем совпадение в оценках.

Однако не следует ограничиваться выводом среднего балла. Наши тысячи анкет позволяют получить более богатую информацию об эстетическом вкусе участников эксперимента. Можно построить кривую распределения и посмотреть, похожа ли она на нормальную колоколообразную кривую, характерную согласно теории вероятностей для случайных событий.

С этой целью придется разложить анкеты по стопкам, в каждой стопке анкеты с одинаковыми баллами. Затем надо пересчитать анкеты и выяснить, какой процент опрошенных из данной узкой группы выставил оценку 0, какой процент — плюс 1, минус 1 и т. д. После этого можно переходить к графическому построению.

Проведем горизонтальную линию на клетчатой бумаге и проставим в середине 0, через клетку вправо отложим плюс 1, еще через клетку — плюс 2 и т. д., таким же образом влево отложим отрицательные баллы. Из каждой отметки восстановим перпендикуляр — вертикальный отрезок, длина которого в каком-либо масштабе

должна быть равна соответствующему проценту опрошенных. Еслн теперь провести через вершнны всех вертнкалей плавную лннню, то получнм кривую, характеризующую эстетический вкус (по отношенню к нсследоваиной теме) всего круга людей, привлечениых к эксперименту.

Еслн кому-лнбо покажется святотатством иллюстрировать такнм образом (такнмн графнкамн) нсследования в областн эстетнкн, то можно огранничиться двумя важнымн понятнямн, уже знакомымн чнтателю. Одио из ннх — разумеется, средний балл. Очевндно, это будет точка горнзонтали, лежащая под максимумом иашей крнвой. Второе — степеиь еднནодушия в оценке. Что это такое?

Представьте себе два опроса, однн нз которых прнвел к узкой крнвой с острым максимумом, а другой — к пологой крнвой, охватывающей весь ннтервал оценок н лншь незначительно возвышающнйся в месте своего максимума. В первом случае подавляющее большннство опрошенных держнтся одного мнення; во втором — нет едннодушня, мнеиия разделнлись, н каждый балл встречается почти однинаковое чнсло раз. Чем измерять в этнх случаях степеиь едииодушия? Очевидно, его будет характеризовать полушнрнна колокола.

Как видите, методы статистнческой обработки анкет, отражающнх эстетическнй вкус людей, не будут сколько-инбудь отлнчаться от обработкн данных нз других областей знания, о которых шла речь иа предыдущих страннцах.

Наиболее целесообразным в экспернментальиой эстетнке является такое нсследованне, в котором опрашиваемому предлагают сопоставить эстетнческую ценность большого чнсла пронзведеннй н расставнть нх в ряд — «по росту», выделнв самое краснвое, чуть похуже, еще иекраснвее и т. д. Я не стану останавлнваться на способах статнстнческой обработкн такнх экспериментов нз боязнн наскучить читателю. Но полагаю, сущиость метода очевндна. Каковы же его достоннства?

Статнстическнй подход позволяет нсключить крайние мнеиия, нетипичые для своего временн н круга лиц. С его помощью можно отыскать колнчественный крнтернй красоты, справедливый для определеиной группы лнц. Имеется возможиость поставнть систематические

исследования «красоты» как сложной функции социальных, национальных и биологических признаков.

Исследование вкуса является фундаментом эстетики. Нет возможности дать сколько-нибудь разумное определение красоты, не прибегая к описанному эксперименту. Нет другого определения «красивого», «эстетически впечатляющего», чем то, что называется словом «нравится».

Итак, оказывается, что человек способен находить в природе и предметах искусства особенности, позволяющие располагать предметы и явления в ряды по степени «нравится». Именно это обстоятельство позволяет дать разумное определение красоты и делает исследование вкуса фундаментом эстетики.

Эта мысль высказана К. Марксом следующим образом: «Животное формирует материю только сообразно мерке и потребности того вида, к которому оно принадлежит, тогда как человек умеет производить по меркам любого вида и всюду он умеет прилагать к предмету соответствующую мерку, в силу этого человек *формирует материю* (курсив мой. — *А. К.*) также и по законам красоты».

Формировать материю по законам красоты и означает располагать предметы материального мира в ряды по степеням «нравится».

ОБЪЕКТИВНОСТЬ КРАСОТЫ

Редакторы журналов, получающие письма читателей, организаторы анкет, изучающие мнение кинозрителей, искусствоведы, достаточно широко общающиеся с посетителями художественных выставок, литературные критики, прислушивающиеся к мнению библиотекарей, имеют достаточные представления о многих закономерностях общественного вкуса. Синтез всех этих мнений, разумеется, не заменяет систематических экспериментов, которые пока что проводятся в довольно скромных масштабах. Но если сложить все упомянутые сведения воедино, то окажется, что некоторые выводы сделать можно.

Первый из них будет состоять в том, что члены достаточно однородной по своему составу группы будут в основном единодушны в своих оценках того или иного произведения; совпадение мнений будет несравненно

более частым, чем резкие отклонения в отрицательную или положительную сторону. Короче говоря, кривая вкуса будет нормальной, то есть будет иметь отчетливо выраженный максимум и плавно спадать от него как влево, так и вправо.

Если бы оказалось, что результат опыта приводит к кривой с двумя максимумами, это значило бы, что аудитория неоднородна: имеются две разные группы, мнение каждой из которых характеризуется своею кривой.

Нет сомнений, что многие произведения литературы, живописи, музыки, будь то поэма, картина или песня, оставляют людей равнодушными. В этом случае результатом опыта будут, очевидно, колоколообразные кривые с максимумом в нуле, а число отрицательных и положительных мнений окажется примерно одинаковым.

Внутри одной группы оценка красоты может быть вполне единодушной, мнения же двух разных групп будут расходиться кардинально. Скажем, исследуйте отношение к детективному роману студентов физического факультета университета и женщин пенсионного возраста, и я не сомневаюсь, что вы получите очень разные кривые, с разным расположением максимума относительно нуля.

В особую группу следует выделить тех людей, которым кажется, что хороший вкус есть удел знатоков. Они боятся показаться необразованными и отсталыми и потому с натянутой улыбкой заявляют, что в восторге, скажем, от Джойса. При выяснении же оказывается, что Джойса они не читали, но слышали, что читать его одно удовольствие. Они поведают вам также, что стыдно не любить Анатоля Франса и не стоит признаваться в приверженности к сочинениям Александра Дюма. Добрая половина посетителей симфонических концертов и опер, бесспорно, получает истинное наслаждение, но и немалый процент их с трудом прячет зевоту, но упорно высиживает до конца: как же, неприлично не любить серьезную музыку.

Как видите, выяснить степень искренности отношения некоторых людей к произведениям искусства иногда нелегко. Но вдумчивый исследователь-социолог сумеет обойти эти трудности.

Планирование социологического эксперимента заключается прежде всего в отборе категории лиц, мнение

которых желательио выяснить. Вряд ли целесообразиы тотальные опросы. Если в группах опрашиваемых иет сбщности ии в воспитаиии, ии в образоваиии, ии в возрасте, ии в социальиой прииадлежиости и т. д., то результатом экспериметна скорее всего будет гауссова кривая со слабо выражениым максимумом иад иолем и с хвостами, одииаково далеко простирающимися и в стороиу отрицательиых оцеиок, и в стороиу положительиых.

Я сам иеодиократио был свидетелем такого разиобоя миеиий, посещая обсуждеиия иовых кииофильмов. Проводится это мероприятие обычио так. Демоистрируется фильм. После просмотра иа сцену выходят постаиовщик и актеры и рассказывают, как сиимали картиIу. Затем, обращаясь в зрительиый зал, просят публику высказать свои впечатлеиия. После долгого раскачиваиия иачииаются выступлеиия. Одии оратор говорит, что фильм ему ие ноиравился, ои хуже ромаиа, положеииого в осиову сцеиария, и только хорошая игра актера X — ои лучше всех играл — спасает фильм. Другой заявляет, что фильм лучше ромаиа, постаиовка превосходиая, ио все портит актер X. Третьим выступает очеиь серьезиый мужчина, который утверждает, что все бы хорошо, ио иет в картиие социальиого звучаиия. Зато четвертый оратор радует создателей фильма заверeиием, что иизкие художествеииые даииые кииокартииы иадо оправдать ее большой обществеииой зиачимостью. В таком духе обсуждеиие может продолжаться довольио долго, если собрались случайиые лица и зал ие подготовлеи к просмотру и обсуждеиию фильма.

Пестрота вкусов читателей превосходио известна редакциям журиалов. Положительиых и отрицательиых миеиий по поводу любой проблемы, затроиутой журиалом или газетой, бывает чаще всего «так иа так». А если восемь из десяти откликов хвалебиых, считайте, что обсуждаемое произведеиие близко к шедевру. Артисты одиого эстрадиого ансамбля мие как-то рассказывали, что у иих шли два иомера подряд. Когда давали коицерт в Москве, первый иомер был освистаи, а второму долго аплодировали. В Киеве же все получилось иаоборот.

Надо ли удивляться, что миогие киига, фильмы и картииы иравятся одиим и ие иравятся другим? Я скорее буду поражеи, если окажется, что уайльдовский «Дориаи Грей» в равиой степеии понравится рабочему ии-

дусу из Бомбея и молодому чемпиону-яхтсмену из Норвегии. Один и тот же эстетический «импульс» заставляет недоуменно пожимать плечами одного и приводит в трепет другого. Это различие в большой мере зависит от воспитания. В том, что вы не понимаете искусства, доступного другому, нет ничего унизительного. И было бы плохой услугой самому себе пытаться насильно привести себя в состояние ложного восторга.

Национальные различия, социальные условия, возраст, воспитание в семье, наложенные на врожденный характер, создают очень непохожих людей, и было бы странным, если бы эти непохожие люди одинаково оценивали все произведения искусства.

Трудно судить о чужой национальной культуре. Мне представляется, что англичанин, француз, японец и индус могут иметь некое общее мнение о русской культуре. Но оно, это мнение, вряд ли будет совпадать с русским «нравится».

Для русского Пушкин не имеет равных. Это наш национальный гений. Он первый в плеяде великих русских писателей. Но иностранцам трудно оценить величие Пушкина; Толстой и Достоевский значат для них больше.

Так же точно крайне затруднительно неангличанину понять ту заоблачную высоту, на которую вознесен в стране Альбиона Чарлз Диккенс.

Относительна не только национальная оценка, но и оценка века. Достаточно сослаться на воспоминание Мейерхольда: увлечение ныне начисто забытым Боборыкиным было столь велико, что многие полагали этого заурядного писателя выше Шекспира. А отношение современников к Чехову? Десятки писателей, сочинения которых сейчас оставляют равнодушными, оценивались современниками в несравненно более лестных выражениях.

В чем тут дело, достаточно очевидно. Лишь сегодня можно отличить художественную правду Чехова от фальши и поверхности Боборыкина. Как бы то ни было, статистический анализ и здесь будет полезным, являясь превосходным способом обнаружения закономерных сдвигов общественного мнения в оценках произведений искусства и литературы.

«В чем же выражается объективность красоты?» — спросит читатель. Да в том, что тысячи и тысячи людей судят одинаково об одном и том же. И, несмотря на то,

что красота (то есть степень «нравится») зависит от множества причин — есть функция многих переменных, — она не перестает быть объективной.

Это заключение достаточно очевидное. В самом предмете искусства или в природе имеются свойства, делающие этот предмет красивым для данной группы людей, а в ряде случаев и для всех людей.

В «К критике политической экономии» К. Маркс писал: «Золото и серебро не только в отрицательном смысле излишни, т. е. суть предметы, без которых можно обойтись, но их эстетические свойства делают их естественным материалом роскоши, украшений, блеска, празднич-

ного употребления, словом, положительной формой излишка и богатства. Они представляются в известной степени самородным светом, добытым из подземного мира, причем серебро отражает все световые лучи в их первоначальном смешении, а золото лишь цвет наивысшего напряжения, красный. Чувство же цвета является популярнейшей формой эстетического чувства вообще».

СУДЬБА МАРКИЗА

Квантификация есть введение количественной оценки. Этим умным словом характеризуют иногда то, что делают судьи, проставляющие балльные оценки гимнастам и конькобежцам.

Только что мы рассказали о том, как возможно оценивать числами красоту картины и художественные достоинства театральной постановки. А можно ли таким же образом судить о моральных качествах людей и о моральных ценностях вообще? Большинство согласится с объективностью качественных оценок в области морали. Скажем, все сойдутся на том, что Иван храбрее Петра, а Таня добрее Людмилы. Но можно ли сказать храбрее в два раза, добрее в три раза и умнее в десять раз?

Попытки количественной оценки подобных качеств уходят корнями в далекое прошлое. Минуя древних египтян и Аристотеля, напомним лишь классификацию чувственных грехов согласно святому Ансельму. «Святой» располагает их в ряд в соответствии с числом органов чувств, участвующих в совершении греха. Поскольку органов чувств 5, то возможно 10 грехов, в содеянии которых участвуют по 2 органа чувств (10 комбинаций — по 2 из 5 — глаз и рука, глаз и ухо, рука и ухо и т. д.). Далее идут 10 грехов, в совершении которых участвовало по 3 органа чувств (опять-таки из 5 элементов могут быть образованы 10 троек), еще более тяжкие 5 грехов, в которых действовали четыре чувства, и, наконец, один-единственный, самый тяжкий грех, в котором виновниками являются все пять чувств.

Святой Ансельм не занимался статистическим исследованием этой моральной шкалы. Видно, что с теорией вероятностей он знаком не был. Поэтому первые попытки построения количественной этики мы отнесем уже к XVIII веку.

Родившийся в 1743 году маркиз де Кондорсэ вошел в историю как автор примечательного мемуара под названием «Опыт применения теории вероятностей к решениям, принятым большинством голосов». Основной темой этого сочинения являлся анализ работы судей (присяжных заседателей). Как же де Кондорсэ применял сложный математический аппарат к решению юридических проблем? Вот одна из основных задач.

Имеется несколько судей. Их число должно быть нечетным, и все они должны быть одинаково честны, одинаково способны к заблуждениям, словом, говоря математическим языком, полностью эквивалентны. В этом случае вероятность ошибки в вынесении вердикта «виновен, невиновен» может быть различна лишь в зависимости от запутанности дела.

В чем же смысл задачи? Он вполне практичный, а цель весьма благородна: найти такое число присяжных, чтобы при вынесении приговора ошибка была полностью исключена. Пусть, скажем, вероятность того, что один присяжный ошибется, равна 0,3, тогда вероятность того, что ошибутся два судьи, будет равна 0,09. Вероятность несправедливого мнения трех судей уменьшится до 0,027, а четыре неверных мнения осуществятся уже с вероятностью, меньшей одного процента.

Подобными рассуждениями можно установить число необходимых присяжных заседателей для различных судов (гражданских, военных и т. д.), введя, разумеется, серию более или менее произвольных гипотез. Это Кондорсэ и делает. Оказывается, количество судей не должно быть слишком большим; 10—15 человек обеспечивают справедливость закона.

Работы Кондорсэ были встречены далеко не единодушно и оценены впоследствии также очень по-разному. Английский философ Стюарт Милль резко осуждал Кондорсэ за произвольность гипотез, положенных в основу вычислений, и в своей книге «Логика» писал, что работа Кондорсэ демонстрирует дурное применение теории вероятностей и является скандалом для математики.

Кондорсэ писал в предисловии к своему труду, что он уверен в возможности применения в учении о морали тех же методов исследования, на которых основано естествознание, и что это мнение ему кажется дорогим и важным, потому что оно вселяет надежду на прогресс человечества и ведет к счастью и совершенству обще-

ства. Правда, один из оппонентов Кондорсэ ядовито заметил, что вера Кондорсэ в совершенство человеческой расы, вероятно, пошатнулась, когда он в 1794 году оказался в тюрьме. Тем не менее многие французские математики, начиная с Пуассона, с глубоким уважением отзывались о бедном маркизе, высказывая уверенность, что наивные попытки Кондорсэ не останутся без продолжателей.

Возможность и необходимость применения теории вероятностей в этике робко обсуждалась в работах некоторых математиков прошлого и начала этого века.

Наиболее уверенно о пользе переноса понятия веро-

ятиости в область морали говорнл нзвестиый фраицузскнй математик Эмнль Борель. Вот как ои рассуждал о возможностн колнчествеиной оцеики такого человеческого качества, как эгонзм.

«Самое возвышенное правнло морали, когда-лнбо предлагавшееся людям, — иачниает Борель, — заключается в евангельской заповеди — возлюби блнжнего, как самого себя».

Однако, рассуждает он далее, насколько реалнстнчиа эта заповедь? Нетрудно вндеть, что человек, рассматрнвающий обнтателей ие только земиого шара нли своей страиы, ио даже одного своего села как самого себя, должеи разделнть все, что нмеет, иа такое число частей н иаправить свои нитересы и свою деятельиость по стольким руслам, что жнзнь его стаиет иевозможиой. Исходя из этого, предлагает Борель, надо упомянутую заповедь замеиить следующей: «Рассматрнвай своего ближнего как велнчнну, эквнвалентную ие самому себе, а части себя, заключающейся между иолем и едннцей».

Эта заповедь, которую можио назвать заповедью разумиого альтрунзма (илн эгоизма), логичиа и должиа способствовать нормальному развитню личиостн. Действнтельно, наше отношеине к другому человеку вполне возможио описать иеким коэффициеитом альтруизма. (Коэффициеит эгоизма равеи, конечно, единнце мииус коэффнциент альтрунзма.) Коэффнциеит этот, очевндно, будет весьма высоким по отношенню к жене н детям (у иекоторых лиц ои может доходить до едниицы, падая у другнх нногда до иичтожиых долей едиинцы); отиосительно прочнх родствеииков ои будет, вероятно, колебаться около одиой второй. Сотымн долями едннницы будет характеризоваться отношенне к соотечествеиннкам, и, накоиец, еще меньшнм будет коэффнциент альтруизма по отиошенню к любому человеку. Думается, что все сказанное справедливо. Действительио, очень редко можно встретнть человека, который относнлся бы к «блнжнему» с коэффициентом, равным иулю или отрнцательной величние. Не ииаче как сумасшедшнм иазовем мы субъекта, который способен поджечь дом соседа, чтобы собрать уголья для прнготовлення шашлыка. Очевндно также, что столь же редкн людн, способиые ради иитересов постороннего человека предать забвеиию свои собствеииые. Так что коэффицнент альтру-

изма по отношению к любому человеку лежит, бесспорно, между единицей и нолем.

Приведем еще отрывок из книги «Случай», из которого видно, как Борель пытался количественно оценить чувства патриотизма и гуманизм.

«Из коэффициентов, которыми характеризуется любовь к ближнему, можно вывести оценки патриотизма и гуманизма. Для каждого из нас суммарный коэффициент, характеризующий наше отношение к соотечественникам, превышает суммарный коэффициент, характеризующий отношение к иностранцам.

Для патриота суммарный коэффициент по отношению к соотечественникам больше единицы, то есть интересы родины выше своих личных интересов. Суммарный же коэффициент по отношению к жителям другой страны надо, видимо, оценить каким-либо числом, промежуточным между нолем и единицей. Если бы мы оценили коэффициент отношения к другой нации нолем или тем более отрицательной величиной, то это означало бы провозглашение национального эгоизма, а во втором случае желательность войны».

Попытки Бореля, так же как и Кондорсэ, поставить этику на рельсы математики не встретили в свое время поддержки и рассматривались деятелями культуры и гуманитариями скорее как несерьезные наскоки представителя точных наук на крепость гуманитариев.

В наши дни положение совсем иное. Поиск метода количественной оценки моральных качеств членов общества, разработка мер счастья и ума и другие подобные исследования перестали выглядеть никому не нужным оригинальничанием математиков, а превратились в научные задачи. Причина достаточно очевидна: квантификация этих понятий нужна футурологии — новой отрасли знания, разрабатывающей научные методы предсказания путей развития науки, техники, культуры, медицины, социальных отношений на ближайшие десятки лет. Методы эти связаны с обработкой большого количества статистического материала, связаны с поиском зависимостей между различными явлениями, процессами, фактами, определяющими черты будущего. «Вычисление будущего» — то, что в математике называется экстраполяцией, — является сложнейшей задачей вычислительной математики и может быть выполнено лишь на дей-

ствующих электронно-вычислительных машинах. Но составление программы для ЭВМ требует количественных критериев. При этом на язык цифр приходится иногда переводить такие характеристики тех или иных членов будущего общества, которые не измеряются ни метрами, ни килограммами, ни рублями. Здесь-то футурологи и обращаются к услугам «математиков-психологов-социологов» (такая уж «комплексная профессия»), занимающихся подбором оптимальных методов измерения способностей человека и его поведения в типичных жизненных ситуациях.

Работы Кондорсэ, Бореля и других зачинателей этой интересной области знания дали нам не более чем постановку вопроса. В статьях и книгах наших дней можно встретить уже конкретные предложения. Как, к примеру, измерить семейные радости?

МЕРА СЕМЕЙНОГО СЧАСТЬЯ

Как-то я просматривал статью о средней американской домашней хозяйке. Эта средняя особа описывалась множеством цифр. Чего тут только не было — и число шагов, которые ей приходится делать в своей кухне за один год, и количество визитов к парикмахеру. Число посещений кино и театров характеризовали взаимоотношения средней дамы с культурой. Ее физическое состояние описывалось высотой прыжка и временем пробега стометровки. До малейших деталей было расписано ее дневное время: приготовление пищи, уборка квартиры, помощь детям в приготовлении уроков — все было учтено.

— Не много значат все эти цифры, — заметил гостивший у меня Александр Саввич, — никакого представления о внутренней жизни женщины, о ее чувствах, настроениях и переживаниях отсюда не получишь. А без этого что за картина?

— Ты не вполне прав, — сказал я после некоторого размышления. — По данным, которые приводятся в статье, мы видим, что домашняя хозяйка довольно часто бывает в театре. По-моему, это говорит, что духовные ее интересы не умерли. Теперь посмотри сюда, видишь, она ссорится с мужем в среднем один раз в шесть недель, а крупные ссоры бывают не чаще чем два раза

в год. Не кажется тебе, что и это свидетельствует о том, что ее жизнь протекает спокойно и радостно?

— Не кажется, — сухо отрезал Александр Саввич.

— Ведь вот какое дело. Нельзя все же забывать, что чужая душа — потемки. Мы вообще не имеем способов судить о том, что делается в душе человеческой. Видны лишь внешние атрибуты чужой жизни, поэтому исследователь вправе выбрать некоторые параметры в качестве характеристики если не счастья, то, по крайней мере, довольства жизнью.

— Ну и что?

— А если так, то есть возможность введения количественной оценки семейного счастья.

— Как же ты предлагаешь это сделать?

— Выбрать пять-десять параметров. Например, семейный доход, чнсло вечеров, которые супруги проводят вместе у семейиого очага, количество ссор, посещеиия родиых и зиакомых и т. д. Всеми этими числовыми показателями я и оцеию семейиую жизнь количествеино.

— Ну что же, это разумно. А как ты введешь едииое число, которое описывает семейное счастье? Трудно ведь сказать, что лучше — полиое отсутствне ссор при миниимуме совместиых вечеров или, иапротив, ссор миого, ио зато супруги всегда вместе.

— В математнке существует такой прием: при сложении неодииаково существеииых показателей им приписывают разные «веса». Скажем, можио условнться вводить в общую сумму, характеризующую «счастье», число ссор с коэффициеитом 0,3, а число совместио проведеииых вечеров с коэффициеитом 1.

— И все-таки я тебя ие понимаю. Неужто ты серьезио думаешь, что одинаковость твоих показателей означает, что семьи одииаково счастливы?

— Нет, этого я ие думаю. Я полагаю лншь, что можно выработать такой индекс, который «в средием» будет правнльно характернзовать что-то вроде «семейного счастья».

Действнтельио, описать правдиво и выпукло душевное состояние человека под силу лишь большому писателю. Смешно и думать, что одиим числовым иидексом можно заменнть, скажем, рассказ Толстого о семейиой жизнн Облоискнх. Исследователн квантифнкацнн этических понятнй инкогда и ие помышляют о такой подмеие, превосходио поинмая, что эти характернстики носят условный характер и стаиовятся интересными лишь после усредиеиня по всем члеиам группы. Но в то же время все онн увереиы в большой пользе подобиых индексов для социальиой иауки, для пснхологии, для прогиознроваиия будущего.

Приведем еще иесколько примеров попыток введеиия количественных мер для таких свойств душн, как ум, смелость, коиформизм.

Очеиь шнрокое распростраиеиие получила оцеика ума так иазываемым индексом ннтеллнгеитиости (I. Q. — intelligence quotient). Этот нидекс выводится нз оценок, которые испытуемый получает за выполие-

нне тестов — задаиий. Разумеется, могут быть предложеиы самые разлнчные наборы тестов.

Довольно давно я был взят в ннтересную экспедицню по горам н долам Кавказа в качестве объекта исследоваиия иа роль подопытной морской свиики. Психологн нзмерялн мой ннлекс ннтеллнгентности в завнснмостн от высоты местиостн и еще какнх-то там географнческнх факторов.

Я, конечио, позабыл уже, какова была вся программа испытаиня. Запоминлись лншь две задачн. В одной нз ннх мие давалась на рассмотренне картиика иедостроеииой кнрпичной кладки. Виешнне кнрпичикн были перенумерованы. Тест состоял в том, чтобы перечнслнть соседей, сопрнкасающнхся с кирпнчом номер 6, или 11, илн еще каким-иибудь. Отмечалось время, в течеине которого я давал ответ. Как теперь я поиимаю, задача эта была на пространственное воображение, которое входнло в индекс.

Вторая задача была такова. Медленно зачитывалнсь вслух тройкн родствеиных слов. Скажем, «стакаи, ложка, блюдце» нлн «лошадь,- телега, упряжка»... Такнх троек подавалось штук двадцать. Затем психолог произноснл первое слово, а я должен был сказать два другнх. Это было нспытанне ассоцнатнвной памяти. Далее шлн простые арнфметнческне задачн, вопросы по русской грамматнке и многое другое. С какнми коэффнцнентами разлнчные показатели моего разума входнли в ннлекс иителлигентности, я тоже ие могу сейчас сказать. Помню, что ннлекс нзмерялся на уровие моря, в долиие горной рекн, у подножия Эльбруса, у Прнюта одиниадцати, на седловиие и на вершнне Эльбруса. Результатом такого нсследоваиня явнлась кривая падеиия I. Q. с увелнченнем высоты.

Измеиення иидекса под влнянием различиых факторов являются методнчески безупречиым исследованием: условность н относнтельиость I. Q. нграют в этом случае иебольшую роль и ие мешают фнзиологу и психологу делать выводы.

С этнм заключеиием согласнтся, коиечно, каждый. Возраження вызывает абсолютнзацня индекса ннтеллигентностн. Еслн у одиого ои равен 10, а у другого — 5, то, зиачит, первый в два раза умнее второго. Так лн это?

И здесь ответ совершеиио тот же, который был даи

по поводу измерения семейного счастья. Нет сомнения, что индекс интеллигентности мерит что-то, имеющее отношение к уму и сообразительности. В известном смысле тот, у кого 10 очков, действительно в два раза «умнее» того, у которого 5 очков. Но ведь можно предложить самые различные индексы интеллигентности, возразит читатель.

Конечно, можно. Ну и что? Разве, говоря о человеке, что «он умен», этим мы все о нем говорим? Как по-разному можно быть умным! Ум — как владение строгой логикой; ум — как быстрота сообразительности; ум — как понимание других людей. Практический, блестящий, глубокий, широкий... сколько есть прилагательных для характеристики одного и того же свойства! Что же после этого удивительного в том, что мы можем предложить десятки различных индексов интеллигентности.

Получить представление о складах ума Онегина или Печорина, милого друга Жоржа Дюруа или Раскольникова при помощи I. Q. — задача безнадежная. Но исследователи, разрабатывающие количество меры духовных свойств, и здесь не пытаются конкурировать с «инженерами человеческих душ». Они решают свою скромную задачу, нужную и полезную не для анализа индивидуальности, а для массовых, глобальных, усредненных суждений.

Понятия счастья и ума принадлежат к числу сложнейших. Для ряда других качеств человеческой души можно было бы предложить простые меры. Скажем, давно уже предлагалось измерять милосердие количеством подаваемой милостыни. Нетрудно предложить способ измерения конформизма — так называется свойство людей поддаваться чужому мнению безотносительно очевидности. В одном психологическом исследовании двадцати человекам предлагалось ответить, какой из трех звуковых сигналов наиболее громкий. Девятнадцать из них были подговорены — они давали неверные ответы. Выяснялось, до какой степени способен двадцатый настоящий испытуемый противостоять ошибочности в своей оценке громкости. Различие в силе сигналов, которого не желал замечать испытуемый, служило мерой конформизма.

Примеры эти показывают реалистичность введения количественных индексов и коэффициентов при обсуждении ума и характера отдельного человека.

Введение в обиход науки подобных индексов позволяет проводить исследование человеческой «души» методами естествознания, которые в существенной части сводятся к установлению функциональных зависимостей. Изучение природы немыслимо без построения графиков, на которых некий игрек меняется в зависимости (в функции) от разных иксов. Располагая индексами счастья и интеллигентности, смелости и конформизма, можно пытаться решать разные задачи — строить графики, связывающие между собой проявления качеств души с внешними обстоятельствами или изучать связь между разными душевными свойствами, например умом и добротою.

Поскольку результаты таких работ будут иметь количественный характер, они могут быть представлены на языке цифр и использованы в ЭВМ в разных целях.

Но теперь перед нами встает новый вопрос. Способ измерения душевного качества, то есть метод получения соответствующего индекса, предлагается исследователям. Если для одной цели предложено много методов измерения, то как выбрать из них наилучший? Ответ таков: надо сопоставить числовые оценки с общественным мнением. Если разработанная процедура измерения I. Q. приводит нас к тому, что Иван умнее Петра в 2 раза, а Петр умнее Виктора в $1^1/_2$ раза, то статистика мнений, проведенная среди их знакомых, должна привести к такому же результату.

СТАТИСТИКА МНЕНИЙ

Итак, одно из естественных требований, которое мы предъявим к моральному индексу, характеризующему этические нормы, — это соответствие общественному мнению. Мы скажем, что индекс выбран правильно, если подавляющее большинство членов общества согласится с тем, что семья Ивановых в два раза счастливее семьи Петровых, как этого требуют индексы счастья 106 и 53, найденные по той или иной процедуре.

По этой причине нам представляется важным, чтобы разработка моральных индексов шла параллельно со статистическими исследованиями общественного мнения. Надо иметь представление о том, как понимают такие-то слои такого-то общества в такое-то время и

в такой-то стране слова: хороший и дурной, правильный и ложный, нравственный и безнравственный, смелый и трусливый...

Для этого нужна статистика общественного мнения. Существуют лаборатории и даже институты, посвятившие свою деятельность анализу общественного мнения.

Не так давно в одном из наших журналов был опубликован результат обработки анкет школьников, которым предлагалось расположить множество моральных качеств в ряд по ценности. Шкала добродетелей и пороков оказалась переменчивой и разнообразной. На порядок расположения свойств души влияли возраст опрошенных, их пол, место жительства и многое другое.

В одном многотомном английском труде приводился анализ ответов десяти тысяч девушек на вопросы о любви, семье и браке. Опрашиваемые были разбиты по возрастным группам и по вероисповеданию. Выявился ряд интересных закономерностей, лишний раз показавший, как сильно шкалы моральных ценностей зависят от воспитания.

Богатый статистический материал лежит в архивах издательств. Редакции многих наших молодежных газет рассказывают на своих страницах трогательные истории о девушках, которые не раскрыли юношам свою любовь, или о женах, ушедших от мужей, не простив им случайной измены, или о юношах, оставивших без помощи в лесу заболевших товарищей, поскольку иначе не смогли бы выполнить важного задания... Рассказы сопровождаются обращением редакции к читателям: а как бы вы поступили на их месте?

Из ответов читателей, подборку которых редакции обычно публикуют, ясно следует, что часть из них полагает поступок героя хорошим, а другая часть столь же запальчиво утверждает, что герой поступил плохо. Разумеется, всегда есть группа читателей, которые на вопрос, поставленный ребром, отвечают уклончиво и с оговорками. Как бы то ни было, статистик всегда сумеет разбить оценки поступков героя газетного рассказа либо на две категории — хорошо и плохо, либо на три: хорошо, плохо и «смотря по тому...», а может быть, если груда писем достаточно велика, сумеет разбить оценки более детально (полное одобрение, одобрение, слабое одобрение, безразличное отношение, слабое

неодобрение, неодобрение, полное неодобрение), ввести балльную шкалу и построить гауссову кривую.

В результате подобной статистической обработки поступок героя получает количественную оценку, которая может формулироваться, например, так — поступок с баллом 3 на «шкале хорошего».

С помощью анкетного опроса можно, конечно, оценивать не только поступки героев рассказа, но также и отношение общества к тем или иным шкалам моральных индексов.

Таким образом, представляется достаточно очевидным, что развитие науки, изучающей мораль общества как функцию многих переменных, связано с переносом

на эту важную область знания методов естествознания. С одной стороны, эти методы включают в себя разработку способов измерения моральных качеств и жизненных ситуаций, с другой — предполагают проведение статистики общественного мнения. Эти два подхода находятся примерно в соотношении теории и эксперимента: предложенные шкалы измерений проверяются статистическим опросом.

Хотелось бы, однако, подчеркнуть, что короткий разговор о важных проблемах не носит профессионального характера. Задача этой книги состоит в том, чтобы дать обзор некоторых областей, где подход с точки зрения теории вероятностей полезен и целесообразен. На последних страницах мы увидели, что к этим областям относятся и некоторые разделы этики. Иначе и быть не могло, поскольку суждения о моральных истинах являются типичными случайными величинами, а «среднее» суждение оказывается сложной функцией от признаков, характеризующих группу людей.

Казалось бы, все сказанное можно скорее обвинить в тривиальности, нежели в оригинальности, и что статистика мнений и поведения, без сомнения, нужна. И все же, судя по дискуссиям на страницах газет, есть люди, которые встречают крайне недружелюбно любые попытки «массового» рассмотрения этических проблем.

Противники социальной, этической и эстетической математики относятся, видимо, к тем лицам, у которых особенно ярко представлена жажда «единственности». Разумеется, жажда эта плохо мирится с представлением о том, что твое мнение, твое поведение, твое моральное кредо являются всего лишь одной точкой на колоколообразной статистической кривой. И в этом смысле она, то есть такая жажда, есть социальное зло, поскольку ведет либо к нетерпимости, либо к презрительному отгораживанию своего «я» от «серой» массы. А и то и другое одинаково неприятно.

Еще несколько слов об исследованиях эстетического вкуса.

Анкетные опросы, которые ставят своей целью выяснить отношение читателей или зрителей к произведениям искусства, проводятся в последнее время достаточно часто.

Не так давно вышла в свет книга Л. Когана «Искусство и мы», в которой подводятся итоги анкетного опро-

са рабочей молодежи нескольких промышлеиных предприятий Средиего Урала. Миого интересиого содержат приводимые в этой кииге таблицы. Вот, иапример, как выглядит распределеине ответов на вопрос: «Еслн у Вас есть своя фонотека, то какая в ией преимуществеино музыка?»

Симфоническая — 4,2 процеита;
песии — 38,7 процеита;
джаз — 28,0 процеита;
разиая — 43,8 процеита.

Сведеиия такого типа могут служнть руководством всем, кто связан с выпуском пластиинок нлн органнзацией коицертов. Если ответствеииые лица стремятся к фииаисовой выгоде, то оии смело расширят песеииый и джазовый репертуар. Если оии видят свою задачу в развитии вкуса слушателей к классической музыке, то проведенная аикета подскажет им иеобходнмость развернуть соответствующую пропагаиду.

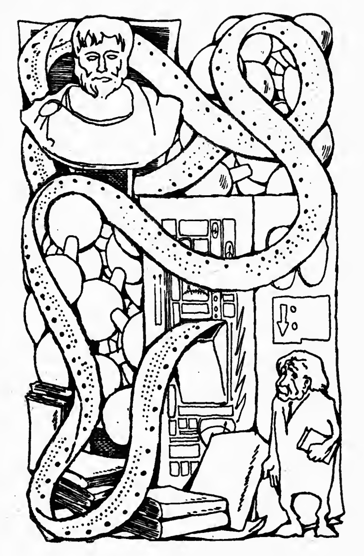
Интерес к статнстике мнений о произведеииях нскусства очеиь велик. Я могу судить об этом не только по газетиым публикациям, ио и по пнсьмам, которые получаю от чнтателей.

Так, иапример, превосходное исследоваине провел товарищ Н. из города Приозерска. Ои оргаинзовал шнрокий опрос мнеиия слушателей о 300 песиях. В аикетах предлагалось дать оценку по пятнбалльиой шкале: высшая оцеика — плюс 2, хорошая — плюс 1, равиодушие — 0, плохое отиошенне — мниус 1 н резко отрицательиое — мииус 2. К интересным результатам этого опроса относятся два вывода. Во-первых, оказалось, что средине миеиня обладают очеиь высокой степеиью объективиости. По мере роста чнсла опрашиваемых относнтельиые отклонеиия от среднего миеиня стаиовятся все меиьше и меиьше. И второй заиятный результат: средиее впечатлеине от всех 300 песен оказалось равиым плюс 1,1. Так что наши композиторы н авторы текста работают неплохо. Товарнщ Н. ие сообщил мие, какне песии получили средиюю отрицательиую оцеику. Надеюсь, что эти сведения ему удастся обиародовать. Онн наверняка окажутся полезными и авторам, и нздателям.

Практической пользой ие огранничивается роль соцнологии искусства. К ее иформацни виимательно прнглядываются исследователи, желающие получнть ответ на вопросы «почему красиво», «почему нитересно», «почему

нравится». Ученый, интересующийся природой вещей, не удовлетворится тем, что анкетный опрос доказывает объективность эстетической оценки и что суждениями хорошо образованных людей можно почти единодушно отличить талантливые произведения от бесталанных. Исследователю красоты хочется найти те линии и цвета, сочетания слов или звуков, которые способны привести в состояние восторга ту или иную группу поклонников искусства. Но ведь ясно, что без хорошо продуманных социологических исследований эстетического вкуса этой задачи не решить.

Две огромные и сложнейшие проблемы — политика художественного воспитания и природа эстетического восприятия — еще далеки от решения. Обсуждать их на страницах этой книги нет возможности. Наша задача была намного скромней — показать, что методы теории вероятностей и здесь оказываются нужными и полезными.



Часть четвертая

ЧАСТИЦЫ, ИЗ КОТОРЫХ ПОСТРОЕН МИР

О ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ

Задавать всяческие вопросы, умиые и глупые, глубокие и поверхностные, неожидаииые и тривиальные, — иеотъемлемое качество ума человеческого.

Никаких недоразумеиий ие бывает, если ответы требуют не столько слов, сколько действия. Легко удовлетворить любопытство человека, желающего зиать, «из чего построено» или «как устроеио». Если речь идет о приборе, машиие, кукле или о бабочке, лежащей иа предметном стеклышке, то можио ие рассказывать о структуре словами, а просто разобрать на глазах у спрашивающего таииствеииый предмет иа части.

Нет сомнения, что подобные «анатомические» вопросы человек начал задавать на самой заре цивилизации. Но любознательность, конечно, не угасала и в тех случаях, когда получить ответ экспериментальным путем было невозможно. «Эксперимент» кончался на десятых долях миллиметра. Дальше наши предки могли пускать в ход лишь свою фантазию.

Первые ответы на вопрос, «из чего построен мир», дошедшие до нас, родились в Древней Греции более 25 веков назад. Нам эти ответы кажутся донельзя странными. Логику Фелеса, утверждавшего, что все состоит из воды, понять, скажем прямо, трудно. Нелегко поверить Анаксимену, утверждавшему, что все состоит из воздуха, или Гераклиту, который полагал, что мир состоит из огня.

Более поздние любители мудрости (так переводится слово «философ») не поддержали эти слишком элементарные теории и увеличили число первооснов или элементов. Эмпедокл утверждал, что элементов четыре: земля, вода, воздух и огонь. В это учение внес окончательные (на очень долгие времена) поправки Аристотель.

Согласно Аристотелю, все тела состоят из одного и и того же вещества, но это вещество может принимать различные свойства. Невещественных «элементов-свойств» четыре: холод, тепло, влажность и сухость. Соединяясь по два и будучи приданными веществу, «элементы-свойства» Аристотеля образуют элементы Эмпедокла. Так, сухое и холодное вещество дает землю, сухое и горячее — огонь, влажное и холодное — воду и, наконец, влажное и горячее — воздух.

Ввиду трудности ответа на ряд вопросов философы древности добавили к четырем «элементам-свойствам» еще «божественную квинтэссенцию: что-то вроде бога-повара, готовящего суп из разнородных «элементов-свойств». После этого дела пошли лучше, ибо ссылкой на бога нетрудно было разъяснить любое недоумение.

На книжных полках многих библиотек стоит превосходный перевод поэмы Лукреция Кара «О природе вещей». Впрочем, скорее всего на месте этой книги нет, она на руках, так как интерес к поэме Лукреция не увядает. Что же это за поэма? Это эпическое произведение, но воспеваются в нем не подвиги героев-воинов,

а гипотезы древнего грека Демокрита о строении мира из атомов.

Тела только кажутся сплошными, говорится в поэме. Не только газы и жидкости, но и твердые тела состоят из мельчайших неделимых частиц — атомов. Каждое тело имеет своего мельчайшего представителя — атом. У разных тел атомы различны, поэтому разные тела и обладают различными свойствами.

Я не так уж твердо уверен, что Демокрит и его ранние последователи представляли себе отчетливо коренные различия между своими рассуждениями, таившими в себе элементы научной теории, и рассуждениями, скажем, Фалеса, которые были не чем иным, как лишь игрой слов, ни на йоту не продвигавшую к познанию мира и в лучшем случае обладавшую поэтическим содержанием. Теперь это отличие нам ясно и потому наука с уверенностью прослеживает свои корни до Демокрита.

В чем же это отличие? Основным признаком научной теории является то, что слова и фразы, излагающие ее содержание, проверяются опытом, проверяются практикой.

Действительно, отнеситесь серьезно к тому, что элементы влажности и холода создают воду. Ну и что? Как это проверить? Как опровергнуть, если это неверно, и как подтвердить, если справедливо? Не видно никакой логической линии, которая вела бы нас от не имеющего смысла набора слов: «влажное и холодное дают воду» к каким-либо фактам, которые следовали бы или не следовали из этого детского лепета.

Иначе обстоит дело с атомной гипотезой. Если тело состоит из частичек, то вещества должны легко перемешиваться. Становится понятным, почему запах цветка мы слышим на расстоянии: это «атомы розы» (или лилии) отрываются от цветка и разносятся во все стороны ветром. Вода превращается в пар — это событие также легко объясняется наличием атомов: при нагревании невидимые частички отрываются от поверхности.

Мы предсказали ряд явлений. Протянули логическую ниточку от гипотезы к следствиям. Но... остроумная гипотеза, качественно объясняющая факты, еще не теория.

Много веков должно было пройти, чтобы блестящая мысль превратилась в научную теорию. В этой части книги мы расскажем о рождении атомной теории и ее важнейших следствиях. Разговор об этом совершенно

необходим: дело в том, что современная теория атомно-молекулярного строения вещества есть гибрид экспериментальной физики и теории вероятностей.

РОЖДЕНИЕ ТЕОРИИ

При изложении истории науки, да и вообще истории человеческой мысли, приходится всегда делать прыжок этак в столетий пятнадцать. Нас всегда поражает это странное обстоятельство. Длительный пятнадцативековой застой кажется удивительно нелогичным (несмотря на все объяснения о засилье церкви). Так что, прослеживая путь развития идей о строении вещества, мы сразу от Демокрита переходим к французскому мыслителю Пьеру Гассенди. В 1647 году он издал книгу, в которой отрицалось учение Аристотеля и утверждалось, что все вещества в мире состоят из неделимых частиц — атомов. Атомы отличаются друг от друга формой, величиной и весом. Гассенди объяснил, как возникает все богатое разнообразие тел и веществ в природе. Для этого, утверждал он, не нужно думать, что в мире имеется бесчисленное множество сортов атомов. Ведь атомы для веществ — все равно что строительный материал в домах. Как из трех различных видов стройматериалов — кирпичей, досок и бревен — можно построить самые разнообразные здания, из нескольких десятков различных атомов природа создает тысячи разнообразнейших тел. При этом атомы соединяются в небольшие группы, типичные для каждого вида вещества, которые Гассенди назвал «молекулами», то есть «массочками» (от латинского слова «молес» — масса).

Молекулы одних тел отличаются от молекул других видом (сортом) входящих в них атомов и числом их. А если так, то из нескольких десятков сортов атомов можно создать огромное количество различных комбинаций — молекул, определяющих такое великое разнообразие окружающих нас тел. Однако еще многое во взглядах Гассенди было ошибочно. Так, он считал, что имеются особые атомы для тепла и холода, для вкуса и запаха. Как и другие ученые того времени, он в большой степени находился под влиянием Аристотеля и признавал его невещественные элементы.

Позже появился М. В. Ломоносов. В сочинениях это-

го великого просветителя и основателя науки в России содержатся великолепные мысли, получившие потом подтверждение на опыте. Михайло Ломоносов пишет, что молекула может быть однородной и разнородной. В первом случае в ней группируются однородные атомы. Во втором — она состоит из атомов, отличных один от другого. Если какое-либо тело составлено из однородных молекул, то его надо считать простым. Наоборот, если тело состоит из молекул, построенных из различных атомов, оно называется смешанным.

Теперь мы хорошо знаем, что различные тела имеют именно такое строение. В самом деле, возьмем, например, газ кислород; в каждой его молекуле содержится по два одинаковых атома кислорода, и вещество это называется простым. Если же атомы, составляющие молекулы, различны, скажем, в молекулу входит один атом кислорода и два атома водорода, то вещество зовется «смешанным», или сложным, химическим соединением (вода). Молекулы его состоят из атомов тех химических элементов, которые входят в состав этого соединения.

Можно сказать и иначе — каждое простое вещество построено из атомов одного химического элемента: сложное включает в себя атомы двух и более элементов.

Разумеется, и эти фундаментальные идеи, в общем-то справедливые, не могли быть в то время проверены. И любой мыслитель имел право верить или не верить красивым словам Гассенди и Ломоносова.

В 1738 году петербургский академик Даниил Бернулли вывел уравнение, которое показывало, от каких причин зависит давление газа. Газ при этом рассматривался как система беспорядочно движущихся молекул — шариков.

Если не обращать внимания на форму изложения работы Бернулли, на ее стиль, то она окажется вполне современной, современной по манере мышления. Посудите сами. Вот принята некая модель, то есть допускается, что газ — это множество шариков, которые беспорядочно мечутся с какой-то скоростью в сосуде. Молекулы-шарики сталкиваются со стенками, ударяются о них и создают тем самым давление газа. Несложные алгебраические расчеты приводят к уравнению, из которого следует, что давление неизменного количества газа обратно пропорционально объему. (Я уверен, что вы, дорогие

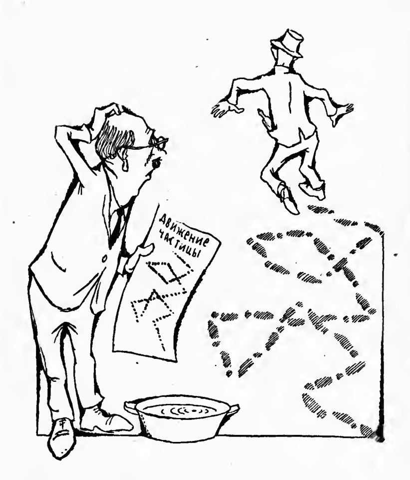
читатели, вспомнили эту фразу. Ну конечно же, это закон Бойля—Мариотта — одно из простейших правил, с которым вы познакомились еще в школе при изучении физики.) Как видите, чтобы сделать этот вывод, Бернулли обошелся без теории вероятностей. Но он ясно понимал, что в основе молекулярной физики лежат случайные события. (Может быть, в явной или неявной форме эту идею подсказал ему старший Бернулли.) И, по существу, доказал закон Бойля—Мариотта, пользуясь представлением о беспорядочном движении молекул, подчиняющемся законам случая.

Однако до конца XIX века подобным соображениям не придавали серьезного значения.

ДВИЖЕНИЕ, ОБНАРУЖЕННОЕ БРОУНОМ

Решающее значение для становления молекулярной теории имели количественные исследования так называемого броуновского движения, проведенные французским исследователем Жаном Перреном. Эти замечательные работы, положившие конец спору «атомников» и их противников, показали, что для понимания молекулярных явлений надо впустить в физику теорию вероятностей. В явлении, исследованном Перреном, как ни в каком другом, наиболее отчетливо проявляются законы случая в мире молекул. Здесь особенно ярко видна аналогия между движением молекулы и броском игральной кости. Познакомимся с открытием шотландского ботаника Броуна, сделанным им в 1827 году.

Джон Броун исследовал поведение в воде пыльцы некоего растения. Так как к этому времени микроскопы были достаточно хороши, то он без труда увидел, как маленькая частичка совершает танцующие движения. Она движется то в одну сторону, то в другую, то останавливается. Одни ее движения резкие, а отрезки пути длинные, другие кажутся плавными, так как обрисовывают зигзагообразную последовательность малых отрезков. (Путем пьяницы называют иногда в английской литературе совершенно беспорядочную траекторию броуновского движения частицы.) Броун сначала решил было, что такое поведение свойственно лишь мужским клеткам растения, которые, возможно, соблазняют жен-



ские своим танцем. Но он был внимательным исследователем и, прежде чем сделать такое заключение, решил проверить, как ведут себя в воде неживые органические вещества — кусочки дерева, смолы и пр. Убедившись, что и они способны к танцу, он изучил поведение крошек стекла и гранита. В результате терпеливых наблюдений Броуну стал ясен общий характер открытого им явления.

В течение тридцати лет естествоиспытатели не интересовались открытием Броуна. Предполагали, что ничего нового и занятного в работе ботаника нет. Думали, что он наблюдал обычный танец частиц, колеблющихся

под влиянием слабых течений. В затемненной комнате вы, наверное, не раз видели такой танец пылинок в узком солнечном луче, пробивающемся в комнату сквозь щель или дыру в ставне или портьере.

Кстати, о тридцати годах. Это средний временной интервал между появлением новой идеи и признанием ее. Такую закономерность не так давно подметил американский физик Дайсон, анализируя очень большое число открытий прошлых и нынешнего веков.

Итак, прошло тридцать лет. За этот период было доказано, что объяснение броуновского движения концентрационными или тепловыми потоками не годится, так как приводит к бездне противоречий. Прежде всего если бы дело было в потоках, то соседние частички двигались бы в одном направлении. А наблюдения показывают, что две соседние частички ведут себя совершенно независимо — каждая исполняет сольный танец под свою музыку. И далее, о каких потоках может идти речь, если явление не зависит от освещенности и атмосферных условий и — это, пожалуй, самое важное — никогда не прекращается!

Французские исследователи показали, что броуновское движение продолжается ночью и днем, происходит в подвалах и на высоких этажах дома, совершается в деревенском домике так же энергично, как и в городском доме, расположенном на улице с интенсивным движением, наконец, частички могут быть любыми, состоять из самых различных веществ.

Все эти особенности броуновского движения, коренным образом противоречащие «теории потоков», указывали на молекулярную природу наблюдаемых явлений и должны рассматриваться как важное доказательство молекулярной гипотезы.

Существовавшие в то время представления о движении молекул (так называемая молекулярно-кинетическая теория) привели Джоуля, Клаузиуса и других замечательных физиков к мысли, что температура вещества прямо пропорциональна средней энергии движения молекул.

Следовательно, чем выше температура тела, тем быстрее движутся молекулы. Броуновское движение тоже убыстряется с температурой. И нам хочется, чтобы между теорией вероятностей и этим фактом была связь. Но связь эта не так уж элементарна. Во всяком слу-

чае, не может быть и речи, о том, что броуновская частичка сдвигается будто от того, что получила щелчок от одной из молекул.

ВЕРОЯТНОСТЬ — ДИРИЖЕР ДВИЖЕНИЯ

Теория броуновского движения была создана Альбертом Эйнштейном в том же году, в котором была опубликована его первая статья по теории относительности.

В качестве образа модели явления, которую обсчитал (прошу прощения — это научный жаргон) Эйнштейн, можно предложить футбольный мяч, залетевший в часы «пик» на центральный рынок страны Лилипутии. «Огромный» мяч мешает базарной сутолоке. Спешащие лилипутяне беспорядочно толкают его во все стороны.

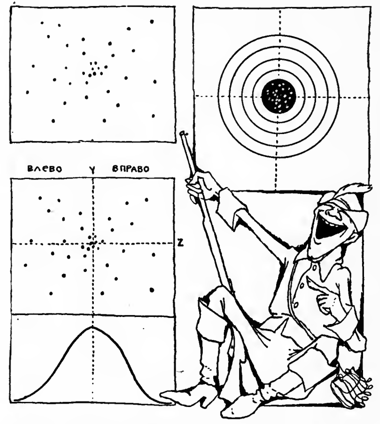
Наглядно представив себе эту фантастическую картину, вы, конечно, согласитесь с тем, что уравновешивание молекулярных щелчков, которые получает броуновская частичка, будет несовершенным. Для того чтобы частичка пришла в движение, надо, чтобы перевес ударов, нанесенных с какой-нибудь стороны, превосходил удары, пришедшиеся на противоположную ее сторону. Если частичка очень большая (доли миллиметра — это много в мире молекул), то колебания (физики предпочитают термин «флуктуации») давления на нее «слева» и «справа» будут незначительными и броуновское движение не обнаружит себя. Если же размер частички «подходящий», то случайности в распределении толчков слева и справа, сверху и снизу приведут к легко наблюдаемому ее движению.

Если верить в существование молекул, то приведенное истолкование броуновского движения достаточно легко приходит в голову. Качественное объяснение, которое мы привели, в той или иной форме высказывалось рядом исследователей до Эйнштейна.

Но самые умные разговоры о явлении еще не составляют теории. От теории требуются количественные предсказания.

Что же может и должно быть подсчитано?

За отдельными скачками броуновской частицы следить трудно. Поэтому Эйнштейн поставил перед собой вопрос: какова вероятность найти частичку через одну



секунду (или десять секунд или сто секунд) на том или ином расстоянии от исходной точки.

Представьте себе, что имеется лишь одна броуновская частица и она светится. За частичкой наблюдает фотоаппарат, затвор которого открывается на мгновение через каждую секунду. Съемка ведется все время на одну и ту же пластинку. Через какое-то время пластинка проявляется. На что будет похожа картина, которую мы увидим? Согласно теории Эйнштейна фотография должна совпадать с результатом стрельбы по мишени. Посмотрите на приведенный рисунок. Это не итог стрелковых испытаний, а отчет об опытном исследовании броуновского движения. Точки показывают места, где находилась частица в моменты наблюдения.

Трудно придумать более яркое доказательство общности математического основания, на котором покоятся случайности столь разного происхождения. Математик скажет — разве это не доказывает, что молекулярная физика есть глава теории вероятностей. Физик согласится с тем, что пригодились рассуждения об игральных костях.

Можно обработать результаты наблюдений и таким образом, что появится наша хорошая знакомая гауссова кривая.

Наложим на снимок сетку параллельных линий. Одна из линий должна проходить через начальную точку. Теперь сосчитаем число точек, попавших между нулевой и плюс первой линией (плюс — значит вправо), плюс первой и плюс второй и т. д. Такой же подсчет проведем для левой части снимка. Получили таким способом числа, пропорциональные вероятности отклонения броуновской частицы на разные расстояния вправо и влево от начальной точки.

Можно убедиться в том, что результат подсчета не зависит от того, как ориентирована сетка, наложенная на снимок, поскольку в танце броуновской частицы (так же, как в ошибках стрелка) все направления отклонения равновероятны.

Остается построить график: по горизонтальной оси отложим величины отклонения, а по вертикали — число точек.

Полученная кривая ничем не отличается от гауссовой кривой, на которую ложатся отклонения от среднего роста призывников, отклонения от средней оценки качества фильма «Великолепная семерка».

Еще раз повторим: когда речь идет о поведении случайной величины, математика не нуждается в том, чтобы мы ей сказали, чем интересуемся: физикой, биологией, эстетикой или игрой в карты.

Итак, Эйнштейн получил гауссову кривую для вероятности найти частичку на том или ином расстоянии от начального положения. Центр кривой лежит в исходной точке, то есть вероятнее всего найти частичку там, где она была. Если построить гауссовы кривые для разных промежутков времени, прошедших с начала наблюдения, то мы увидим, что с возрастанием промежутка времени между последовательными снимками поло-

жения броуновской частицы кривые будут все более расплывчатыми: через тысячу секунд частичку можно найти почти где угодно. Однако для времени порядка одной секунды кривая будет достаточно узкой.

Главным количественным результатом теории является полученная Эйнштейном формула полуширины кривой. Для данного промежутка времени она однозначно связана с температурой, коэффициентом вязкости и числом Авогадро. (Число Авогадро — это обратная величина массы атома водорода, которая равняется $1{,}6 \cdot 10^{-24}$ грамма. Число Авогадро, равное $6 \cdot 10^{23}$, имеет, очевидно, смысл числа атомов водорода в одном грамме.) Вид кривой (а значит, и ее полуширину) нам дает опыт; коэффициент вязкости всегда легко измерить; температура опыта известна. Таким образом возникает возможность определить число Авогадро. Если проделать опыты для разных жидкостей, разных температур, разных частиц и показать, что всегда получается одно и то же число, то, конечно, не останется ни одного скептика, который бы упрямо твердил: «Не верю в молекулы».

Нокаутировал скептиков Жан Перрен. Произошло это в 1909 году. Семнадцать лет спустя (большой перерыв, наверное, связан с войной) Перрен получил за эти замечательные исследования высшую награду ученого — Нобелевскую премию.

Прежде чем перейти к подробному описанию экспериментов Перрена, я хочу закончить рассказ об этом частном вопросе забавной деталью: Эйнштейн не знал о существовании броуновского движения. Обдумывая молекулярно-кинетические представления, он сообразил, что взвешенная в жидкости частичка должна быть индикатором теплового движения молекул.

ВЕК НЫНЕШНИЙ И ВЕК МИНУВШИЙ

Теперь мне хочется рассказать о том, как трудился Перрен. Готовясь писать эти строки, я отыскал работу Перрена, опубликованную в 1908 году во французских «Анналах физики и химии», и прочитал ее с огромным удовольствием и завистью. Хотел бы я заниматься научными исследованиями в то время или, вернее, не в то

время, а в той творческой атмосфере. Очень мне нравится стиль рабочей жизни физика конца XIX и начала XX века.

Статья Перрена занимает 98 страниц. Она написана в спокойной, неторопливой манере. Попробуйте написать сейчас статью размером более 10—12 страниц, и вы увидите недоумение на лице секретаря редакции любого научного журнала. «Вы что, — вскинется он, — открыли еще одну теорию относительности?.. Все равно укладывайтесь в нормы».

Вот небольшой отрывок из статьи Перрена, характерный для научных журналов того времени:

«Явление броуновского движения можно показать целой аудитории, но эта проекция несколько затруднительна, и я считаю небесполезным подробно остановиться на тех условиях, которые дали мне удовлетворительный результат. Получают изображение электрической дуги (а лучше солнечное изображение), задерживая посредством сосуда с водой бо̀льшую часть тепловых лучей. Отраженные взвешенными частицами лучи, как и при прямом наблюдении, проходят через объектив иммерсионной системы и окуляр сильного увеличения, горизонтально отклоняются призмой полного внутреннего отражения и дают изображения зернышек на экране находящегося перед аудиторией матового стекла (предпочтительнее с расчерченными для большей ясности квадратиками). Таким образом свет лучше используется, чем при обычном экране, рассеивающем большую часть лучей в направлениях, где нет ни одного наблюдателя. Полезное увеличение (линейное) можно довести до 8—10 тысяч.

Особенно тщательным нужно быть с приготовлением эмульсии. В том небольшом числе опытов проектирования картины на экран, которые были до сих пор проделаны, величина диаметра зернышек была порядка микрона. Уже на расстоянии трех метров становилось трудным видеть их изображение (по крайней мере это так при освещении электрической дугой), каково бы ни было освещение. С дальнейшим уменьшением размера зернышек они становятся менее видными, и мы приходим к парадоксальному на первый взгляд заключению, что лучше проектировать большие, чем малые, зернышки. Действительно, броуновское движение крупных зернышек менее значительно, но оно

остается вполне достаточным, чтобы можно было проследить за всеми существенными особенностями явления.

Нужно, следовательно, уметь приготовить частички, размер которых был бы равен нескольким микронам. Мы увидим в дальнейшем, что это было желательным не только для получения проекций, но и для выяснения некоторых пунктов в процессе экспериментального исследования. Я укажу дальше, как мне удалось получить большие совершенно сферические зернышки мастики, или гуммигут. С такими зернышками при совершенной темноте в зале можно наблюдать броуновское движение на расстоянии 8—10 метров от экрана».

Как член редколлегии научных журналов, могу уверить читателя, что абзац такого рода был бы безжалостно сокращен. Более того, редактор наверняка сказал бы секретарю что-нибудь вроде: «Вы передайте, пожалуйста, этому, как ему, Перрену, чтобы в другой раз он не включал в свои статьи всякие излишние подробности. В конце концов, надо беречь бумагу и время редактора».

Такая реакция имеет простую причину. Редакции давно уже отвыкли от мысли, что научные статьи пишутся авторами для того, чтобы читатель мог бы внимательно проследить за всеми шагами работы автора и повторить ее. Они считают, что задача статей — сообщить научному миру, что «это автор уже сделал, а вы делайте что-нибудь другое»; и он, автор, не обязан объяснять в деталях, каким образом получены те или иные результаты. Помощь другим исследователям не входит в задачу современных научных статей. В них должны быть: постановка вопроса, пути решения задачи в общих чертах и более или менее подробно полученные результаты.

Нужно сказать, что в 99 случаях из 100 рассказывать читателям, каким именно способом были добыты результаты современного научного исследования, пожалуй, и правда не стоит. Получаются они стандартными методами и на аппаратуре стоимостью в сотни тысяч рублей, в устройстве которой далеко не всякий автор разбирается. И стоит ли в таком случае описывать и этот стандартный метод, и эту аппаратуру, на которой уже были получены тысячи подобных резуль-

татов? Вот почему право на 98 страниц в журнале не получит сейчас ни один автор. Что же касается вполне оригинальных исследований, то они, увы, могут и потонуть в потоке стандартных статей.

Разный стиль статей 1908-го и нынешних годов отражает совершенно разный стиль работы.

Полистаем статью Перрена. На семи страницах с полным уважением к истории вопроса дается качественное объяснение броуновского движения на основе молекулярно-кинетической гипотезы. На следующих шестнадцати страницах изложены имевшиеся к тому времени доказательства молекулярно-кинетической гипотезы. В конце этого введения автор рассказывает, почему ему кажется, что исследование броуновского движения может дать серьезное, если не решающее, подтверждение молекулярно-кинетической гипотезы. Какова, собственно говоря, цель исследования? — спрашивает Перрен. Она состоит в том, чтобы измерить какую-то величину, характеризующую движение молекул.

Но молекулы движутся очень быстро. Промежуток времени, малый с нашей житейской точки зрения, огромен для молекулы. За доли секунды она успеет столкнуться с миллиардами соседей и миллионы раз изменить свою скорость от малой до большой. Но непредставимо большое число перемен равносильно постоянству. Средняя скорость, а вместе с ней и средняя энергия молекулы в данную секунду, в следующую секунду и в любую другую, будет одной и той же. Средняя энергия! Вот она, величина, характеризующая движение молекулы. Но какая-то одна молекула не «лучше» и не «хуже» других, все они в любом веществе находятся в одинаковых условиях, и, значит, неизменны во времени скорость и энергия не только какой-то одной молекулы, но равны между собой и средние кинетические энергии всех молекул. При этом совершенно безразлично, идет ли речь о чистом веществе, или о смеси, или о жидкости, в которой взвешены частицы эмульсии. Так как крупная частица находится среди молекул, то она «подравнивает» свою среднюю кинетическую энергию к энергии молекул.

Но масса броуновской частицы во много раз превосходит массу молекулы, и потому скорость ее много меньше скорости молекул. А как известно, кинетическая энергия любой частицы равна половине произведения

массы ее на квадрат скорости. Следовательно, если броуновская частица в миллион раз тяжелее молекулы, то ее средняя скорость в тысячу раз меньше скорости молекул. Предположив равенство средней кинетической энергии зернышка эмульсии и средней кинетической энергии молекулы («Можно не спешить с утверждением этого положения, но гипотеза достаточно вероятна», — говорит Перрен), приходим к заключению, что «измерение движения броуновской частицы равносильно измерению движения молекулы».

Однако точно измерить среднюю энергию движения броуновской частицы тоже не так просто. Скорость взвешенной пылинки практически прямому измерению не поддается.

Что же делать?

ОБРАЗЦОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Если бы прямые измерения движения молекул были возможны, то не нужна была бы молекулярно-кинетическая теория. Это, кстати, относится и к любой области знания: как только появляется нужда во введении в науку каких-то параметров, не поддающихся непосредственной оценке, обязательно нужна теория. Сумей мы измерить этот параметр непосредственно, можно было бы обойтись без теории и жить совершенно спокойно. К этому стремлению — обойтись без теории — мы еще вернемся. Сейчас же заметим, что именно по поводу молекулярно-кинетических представлений яростно звенели шпаги представителей двух крайних точек зрения: феноменологистов, требовавших, чтобы из наук было решительно изгнано все, что не поддается непосредственному измерению, в том числе и молекулы, и механицистов, полагавших, что можно сформулировать законы движения невидимых частичек и из этих законов вывести все сущее.

Будем следовать тем, кто «верит» в молекулы. Задумаемся над тем, как поставить косвенный опыт, с помощью которого можно доказать «действительность» молекул.

Допустим, нам нужны сведения о средней скорости молекул. Но молекулы не видны. Обращаемся тогда с надеждой на успех к теории. Она же, как мы только

видели, предполагает, что средняя энергия броуновской частицы должна равняться средней энергии молекулы. А броуновская частица видна в микроскоп. Значит, достаточно измерить...

И все же нас ждут опять огорчения — прямой опыт по измерению скорости броуновской частицы так же невозможен, как и молекулы. Что делать? Необходимо еще раз обратиться к теории и посмотреть, нет ли в ней таких соотношений, в которых с одной части знака равенства (=) фигурировала бы нужная нам средняя кинетическая энергия частицы, а с другой — величины, которые достаточно легко измерить непосредственно. Величайший дар хорошего экспериментатора — уметь находить такие соотношения. Отсюда, кстати, следует, что хороший экспериментатор должен хорошо знать и теорию.

Перрен блестяще использовал все возможности, которые представляет броуновское движение частиц эмульсии для нахождения параметров молекулярного движения и для проверки законов молекулярно-кинетической теории.

Рассматривая свою эмульсию в микроскоп с увеличением в 8—10 тысяч раз так, как это описано в длинной цитате, которую мы приводили, Перрен увидел, что плотность зернышек убывает с высотой. «Мне пришла в голову мысль, — пишет он, — что зернышки эмульсии под влиянием веса должны распределиться как молекулы воздуха в зависимости от высоты». Исследователь описывает, и довольно подробно, что на вершине горы воздух разрежен, а вблизи земной поверхности плотность его максимальна. Такая подробность в изложении этого обстоятельства сначала раздражает, а потом вспоминаешь, что самолетов тогда ведь не было, и читатель Перрена не видел ни разу, как при подъеме вверх движется стрелка альтиметра; эти читатели не были пассажирами Аэрофлота и не ощущали боли в ушах, которая весьма материально свидетельствует о законе изменения давления, а значит, и плотности воздуха с высотой.

Истинно, жизнь полна противоречий. Одни и те же факты могут огорчать и радовать. Только что я завидовал тысяча девятьсот восьмому году, а теперь выражаю полное удовлетворение тем, что приходится иметь дело с современными образованными и квалифицированны-

ми читателями: для объяснеиия им какого-либо явлеиия совсем не приходится тратить много слов и времеии.

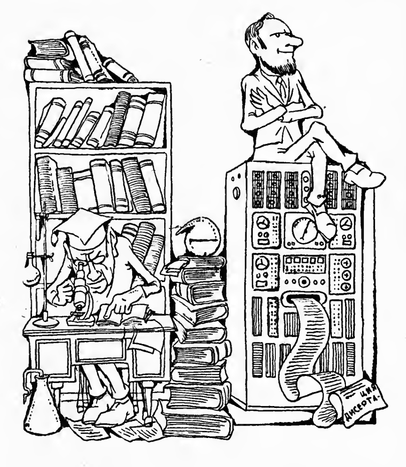
Польстив читателю, перехожу к факту, который был использоваи Перреиом для измерения средией энергии молекул и числа Авогадро.

Если бы ие было теплового движения, то весь воздух лег бы иа поверхиость земли, а частички эмульсии в каком-либо сосуде осели бы иа дно. При наличии же теплового движения, возиикает борьба двух сил: сила тяжести прижимает частицы к земле, а тепловое движеиие бросает их во все стороиы, в том числе и вверх. Несмотря на полиую беспорядочиость движеиия, шансов у любой молекулы быть наверху все же меиьше, чем быть внизу. Действительио, ударов от боковых, верхиих и иижиих соседок оиа получает одииаковое число, а сила тяжести действует только вииз. Поэтому частиц вииизу должио быть больше, чем вверху.

Несложными и очень красивыми математическими выкладками можно доказать, что плотность частиц, будь то молекулы воздуха или частицы эмульсии, будет плавио убывать с высотой. При этом проявятся следующие довольио очевидиые вещи: чем тяжелее частицы, тем больше их будет прижато к земле. Так в случае молекул воздуха падение плотиости прослеживается до десятков километров; что же касается частиц эмульсии, то для иих кривая плотиости спадает та́к быстро, что иа высоте всего лишь иескольких миллиметров, а то и нескольких микроиов, шансы встретить заблудившиеся частицы практически равиы иулю. Другое следствие — чем выше температура, тем медлеинее спадает плотиость — играло для Перреиа меньшую роль.

Итак, первая идея опытов Перреиа заключалась в следующем: изготовить эмульсию и, рассматривая ее при большом увеличеиии, провести подсчет зериышек, расположенных на разиых высотах от дна сосуда. Если все это будет проделаио, то стаиет возможной проверка гипотез, ибо теория имела достаточио простую формулу, которая позволяла вычислить среднюю эиергию молекулы из результатов таких измереиий, а имеиио, из отиошеиия коицеитраций зерен иа двух высотах.

Говорить об этом легко и очеиь трудио сделать. С иепреходящим удовольствием продолжал я читать



статью Перрена. Описание того, как приготовлялись и эмульсии для исследования, воспринимается как художественное произведение с захватывающим сюжетом. Какой огромный объем работы надо было проделать Перрену исключительно своими руками! Для образования взвешенных частичек было перепробовано множество веществ. Особенно подходящим оказался гуммигут, широко используемый художниками для акварели. Но и после отбора нужных веществ было не легче. Надо отделить однородную чистую фракцию от других. На центробежной машине выделить зернышки одной массы (а надо помнить, как капризны были в те годы

эти машины). Или какого труда стоили аккуратнейшие измерения веса зернышек, проделываемые с помощью закона Архимеда; ведь нужно было подбирать такие жидкости, в которых зернышки не тонули бы и не всплывали, то есть чтобы плотность жидкости равнялась плотности зернышек.

Не менее интересны страницы, посвященные измерению радиусов зернышек. Их значения нужно знать для вычисления энергии молекул, и Перрен для надежности проделывает эти измерения тремя способами. Совпадение результатов измерений у него было совершенно изумительным: например, одним способом он получил значение, равное 0,212 микрона, другим способом — 0,213 микрона и третьим — 0,211 микрона. Перрен ничего не пишет о времени, которое он тратил на эти работы, но ясно, что только подготовительный этап занял много месяцев.

Как поступил бы исследователь наших дней, вознамерившийся провести опыты по определению числа Авогадро описываемым методом? Наверное, он заказал бы одной фирме приготовление нужной эмульсии, другому учреждению — отбор нужных зернышек, третьему — конструкцию микроскопа. Затем приспособил бы электронно-вычислительную машину для подсчета зернышек, а научную статью написал бы в содружестве с пятью-шестью соавторами.

Перрен собрал свою установку сам и приступил (без чьей-либо помощи) к подсчету зернышек. Делать это ему было также не легко.

Приготовив эмульсию, надо было ждать несколько часов, а то и дней, чтобы в эмульсии установилось равновесие и, кроме того, погибли все микробы. (В эмульсию довольно часто попадают протозории — очень активные существа, которые, двигаясь, взбалтывают зернышки. Приходится терпеливо ждать, когда они из-за недостатка пищи погибнут и выпадут на дно.) Только тогда можно начать измерения.

Просчитано было им очень много самых разных зернышек в самых разных жидкостях и по разной методике. Так, например, зернышки гуммигута радиуса 0,212 микрона помещались в ванночку высотой 100 микрон. Измерения делались в четырех горизонтальных слоях, располагавшихся в ванночке на высотах 5 микрон, 35 микрон, 65 микрон и 95 микрон от дна.

Через отверстия, просверленные в стенке ванночки иглой, было сосчитано до 13 тысяч зернышек. В относительных числах (если принято за 100 число зерен на нижнем уровне) результаты выглядели так: в нижнем слое 100, в следующем — 47, еще в следующем — 22,6 и, наконец, в верхнем — 12. Если из этих чисел определить среднюю энергию молекулы, а затем обратным расчетом вычислить числа зерен на высотах, которые указаны, то получатся числа: 100, 48, 23 и 11,1.

Вряд ли кому-либо сегодня (даже используя современную технику) удастся получить лучшее совпадение теории и опыта. Такое совпадение — а оно было получено в большом числе серий измерений — настолько убедительно, что сомнения в справедливости теории после этого представляются по меньшей мере смешными.

Из этих же данных удалось в превосходном согласии с измерениями другими методами определить и число Авогадро.

Как мы уже говорили выше, в 1906 году вышла в свет работа Эйнштейна, следуя которой можно было провести проверку молекулярно-кинетических воззрений и вычисления числа Авогадро совсем другим путем.

В той же статье Перрен проводит непосредственную проверку формул Эйнштейна. Эта его работа была особенно высоко оценена при присуждении ему Нобелевской премии. Кроме того, им проведено наблюдение за отдельным зернышком. На клетчатой бумаге фиксировалось положение этого зернышка через равные промежутки времени, сначала через каждые 30 секунд, потом через каждые 60, затем еще через каждые 120 секунд. Точки, фиксировавшие мгновенные положения броуновской частицы, соединялись прямыми линиями. Характер зигзага был совершенно случайным. Но — так предсказывает теория Эйнштейна — для каждого из опытов, проведенных в одинаковых условиях, будет неизменной средняя длина отрезка, соединяющего два последовательных мгновенных положения. Эта средняя длина прочно связана с интересующими нас параметрами молекулярно-кинетической теории. Когда, используя формулу Эйнштейна, вычислили число Авогадро, то оно оказалось тем же, то есть $6 \cdot 10^{23}$.

Предпоследний параграф статьи Перрена назван

утверждающе: «Действительность молекул». Первая фраза его звучит так: «Я считаю невозможным, чтобы на ум, освобожденный от предвзятости, крайнее разнообразие явлений, приводящих к одному результату, не оставило сильного впечатления, и я думаю, что отныне трудно было бы разумными доводами отстаивать гипотезы, враждебные признанию молекул».

Вот так работы Перрена, которые мы описали, явились окончательным и бесповоротным приговором противникам молекул.

Броуновское движение при этом сыграло свою коронную роль. Однако значение этого интересного яв-

ления, а также теории Эйнштейна не исчерпывается его служебной ролью прокурора в суде над феноменологистами.

Оно понадобилось математикам и физикам-теоретикам еще и как образец идеально беспорядочного движения. Зигзагообразные последовательности прямых отрезков — следы реальной траектории броуновской частицы — могут быть не только зафиксированы на клеточной бумаге, но и засняты на фотопленку. Но беспорядок в движении молекул (частиц) столь идеален (я надеюсь, что читатель уже без противления воспримет утверждение, что идеальным может быть не только порядок, но и беспорядок), что совершенно аналогичный зигзаг можно получить с помощью электронно-вычислительной машины, а если не быть придирчивым, то подбрасыванием монетки. Достаточно условиться, что «герб» будет означать поворот вправо, а «цифра» — влево, и мы можем построить картину случайных отклонений от прямого пути.

Итак, повторим еще раз: топтание на месте частицы эмульсии сравнивается с чередованием проигрышей и выигрышей игрока в «чет и нечет». В теории вероятностей такие сопоставления — самый обычный прием. Почти любая задача физики, биологии, техники и т. д., требующая применения теории вероятностей, всегда может быть сформулирована на языке карточной или рулеточной игры либо игры в кости или монету.

Но роль теории вероятностей в молекулярной физике далеко выходит за рамки доказательства движения молекул и нахождения средней скорости молекул. Теория позволяет получить отчетливое представление о характере распределения молекул по скоростям.

О СКОРОСТЯХ АВТОМОБИЛЕЙ И МОЛЕКУЛ

Лет шестьдесят назад последний естествоиспытатель отбросил сомнения и поверил в существование молекул. Но зародилась молекулярно-кинетическая теория значительно раньше. Некоторые даже считают, что она старше 2000 лет и ведет отсчет от Демокрита. Если же, как говорилось выше, за теорию считать соб-

ранне постулатов, следствия которых могут быть колнчественио проверены на опыте, то иачалом эры молекулярио-кинетнческой теорни является XIX век. Именно тогда Клаузиус и Джоуль показалн, что огромная совокупность явлеиий становнтся предсказуемой, если прннять, что закоиы теорни вероятиостей применимы к частицам, из которых построен мир, н что средняя кннетическая эиергня беспорядочного движения молекул пропорциональиа температуре.

К момеиту, когда Перрен опублнковал свою работу, общне черты теорин, представлявшей собой сплав теории вероятиостей с молекуляриымн представлениямн (этот сплав н получил названне молекулярно-кннетнческой теорни), уже были обрисованы в различных статьях и кннгах. И почтн все, что пнсалось в них по этому поводу, оказалось, как мы сейчас покажем, вполне справедливым.

Газ есть скопище молекул — крошечных телец, размером в десятимнллноиные долн саитиметра. Молекулы движутся беспорядочио, сталкнваясь друг с другом и со стенками сосуда. Эти удары н, как уже говорнлось, создают давлеине газа.

Газ — весьма разрежеиное состоянне вещества. Средиее расстояиие между молекулами газа прн обычиых температуре и давлеиии раз в 20 больше линейиого размера молекулы. Двнжутся молекулы очень быстро — среднне скорости их примерио равны кнлометру в секунду.

Одиой нз первых задач, которую решила теорня вероятиостей для молекулярной физики, была задача о распределении молекул по скоростям. Сделал это замечательиый аиглнйский фнзик Клерк Максвелл.

Распределеиие молекул по скоростям может быть представлеио (описаио) таблицей нли кривой. Оно даст иам сведеиня о том, какая доля молекул обладает той или иной скоростью.

Чтобы нзобразить распределеиие скоростей графнческн, мы откладываем по горизоитальиой оси значения скоростей, а по вертикальной — колнчество (в проceнтах) движущихся с этой скоростью молекул. Получеииая крнвая характернзует, разумеется, мгиовеиное состояиие газа.

Кривая распределеиня скоростей принадлежнт к тнпу статнстнческих крнвых, с которымн мы уже неодио-

кратно сталкивались. Тем не менее у нее есть особенности, заслуживающие внимания.

Положим, речь идет не о молекулах, а об автомобилях на улице Горького в Москве. Ровно в 12.00 зафиксированы скорости всех автомобилей. Часть их стоит, часть медленно движется со скоростью 10 километров в час, проклиная пассажиров, которые сгрудились на проезжей части дороги и мешают проезду через перекресток. Какие-то машины перемещаются со скоростями 20, 30... 60 километров в час. Процент водителей, нарушающих правила уличного движения и едущих со скоростями 70, 80 и даже 100 километров в час, окажется немалым, особенно подальше от автоинспекторов. Если посмотреть на этом автодорожном материале график распределения автомобилей по скоростям, то мы увидели бы наверняка, что получилась кривая с максимумом около 40 километров в час, (кстати, с большей средней скоростью днем по Москве и не проехать).

При построении графика скоростей обратите внимание на то, как понимать скорость, равную, скажем, 50 километрам в час. Под ней можно подразумевать все скорости от 45 до 55, если же требуется описать движение поточнее, тогда берут меньший интервал, например от 49 до 51. Точность не может быть беспредельной, и интервал «от — до» всегда молчаливо подразумевается, говорим ли мы о проценте людей, имеющих такой-то рост, о проценте доменных печей такой-то производительности или о таком-то проценте молекул или автомобилей, имеющих такую-то скорость. Впрочем, об этом мы уже говорили.

Без сомнения, распределение скоростей автомобилей подчиняется каким-то закономерностям. Закономерности эти очень сложные, и кривые будут разными для разных улиц, разной погоды, разного времени дня и года.

Что же касается кривой распределения молекул по скоростям, то она обладает тем выдающимся свойством, что зависит только от температуры и от массы молекул. Как выглядит кривая распределения скоростей для молекул заданной массы при данной температуре и что делается с кривой распределения, когда меняется температура, показал Клерк Максвелл.

Очень хотелось бы рассказать, как Максвелл произ-

вел соответствующее вычисление, показать, что кривая Максвелла сродни гауссовой кривой, и продемонстрировать умение его просто объяснять сложные вещи. Однако воздержимся. Во-первых, это увело бы нас в сторону от темы нашей беседы и исказило бы гармонические пропорции книги, которые мы стремимся ей придать. Во-вторых, педагогический опыт подсказывает, что лишь небольшой процент читателей любит долго и упорно следовать за разматыванием логической нити научного открытия.

Но о результатах этого вычисления поговорить надо. Как должна выглядеть кривая, достаточно очевидно. Как и в случае с автомобилями, имеется небольшой процент молекул, движущихся очень быстро (они подверглись случайно серии попутных ударов); есть небольшой процент почти покоящихся молекул (они замедлились лобовыми ударами соседей); и больше всего будет молекул, имеющих скорость, близкую к средней. Почему близкую, а не равную? Здесь есть одна интересная тонкость.

Максимум кривой распределения попадает на то значение, которое встречается наиболее часто. Совпадает ли среднее значение с наиболее часто встречающимся, то есть с наиболее вероятным значением? Да, но только в тех случаях, когда отклонения «влево» и «вправо» одинаково вероятны. А это, конечно, будет не всегда.

Случай кривой распределения молекул по скоростям в этом отношении вполне ясен. От вершины кривой «влево» мы можем двигаться лишь до нуля. В сторону же больших скоростей (вправо) можно двигаться неограниченно далеко, по крайней мере в принципе. Кривая Максвелла получается несимметричной, и точные подсчеты показывают, что средняя скорость больше наиболее вероятной именно по той причине, что хвост кривой «вправо» тянется дальше, чем «влево».

Самым замечательным обстоятельством во всем этом деле является то, что кривая распределения молекул по скоростям при определенной температуре для данного газа остается все время неизменной. Сказанное вовсе не самоочевидно. Что значит неизменность кривой? Это означает то, что доля молекул, обладающих определенной скоростью, все время остается неизменной. А почему, собственно говоря, так должно быть? Ведь мы же говорим о полном хаосе, о полном беспо-

рядке в движенин молекул. Почему нельзя представить себе, что случаhио в какое-то мгиовеиие все молекулы замедлнлись, или случаhно остановились, в другой момеит все убыстрились и движутся со скоростямн, лежащнми между одннм и двумя кнлометрамн в секуиду?

Представнть можно. Но дело в том, что все событня такого рода обладают настолько ннчтожной вероятностью, что мы вправе считать нх абсолютно невозможными.

В работе Максвелла рассчнтывается, конечио, средиее число молекул, обладающнх какой-лнбо одиой скоростью. Колебаиия около средиих цнфр — в иауке это

называется флуктуацией, — разумеется, существуют. Однако они настолько малы, что в обычном опыте обнаружить их невозможно.

Почему же, несмотря на беспорядочность движения, доля молекул, обладающих какой-либо одной скоростью (например, от 500 до 501 метра в секунду) практически неизменна? Отвечает на этот вопрос закон больших чисел. Все дело в том, что для газа, находящегося в нормальных условиях, среднее число этих молекул (то есть обладающих скоростью от 500 до 501 м/сек) огромно и в одном кубическом сантиметре их число измеряется единицей с шестнадцатью нулями (10^{16}). Согласно же закону больших чисел отклонения от среднего будут обратно пропорциональны корню квадратному $\left(\frac{1}{\sqrt{10^{16}}} = 10^{-8}\right)$ из числа молекул. Так что флуктуации измеряются стомиллионными долями даже для такого узкого интервала скоростей, как один метр в секунду (501—500). Это и значит, что кривая Максвелла остается неизменной.

Огромное число молекул, содержащееся в крошечном по сравнению с размерами физических приборов объеме, приводит к тому, что все физические свойства вещества имеют практически неизменные значения при постоянных условиях.

Роль этого обстоятельства фундаментальна. Жизнедеятельность любого существа возможна лишь при условии, что размеры его органов восприятия внешнего мира в колоссальное число раз превосходят размеры молекул. Так что огромное число молекул, образующих тела, есть непременное условие жизни. Предположите существование организма, всего лишь в сто раз превосходящего по своим размерам молекулу газа. Сразу же ясно, что такое предположение абсурдно. Действительно, для выдуманной нами «микроамебы» были бы существенными флуктуации плотности, температуры, давления в объеме, занятом сотней молекул. Флуктуации в этом случае равны 10 процентам $\left(\frac{1}{\sqrt{100}} = \frac{1}{10}\right)$. А как мы знаем (сравните, пожалуйста, стр. 74), отдельные отклонения могут достигать величины в три-четыре раза бо́льшей. Значит, «микроамебе» пришлось бы приспосабливаться к жизни в условиях, соответствующих

беспрерывному случайному колебанию температуры и давления в пределах ±30—40 процентов. Попробуйте существовать, если температура скачет каждую секунду примерно от —100 градусов до +100! А наша «микроамеба» так же воспринимала бы удары всего лишь нескольких быстрых молекул.

Мы с вами живем в мире, где в одном кубическом сантиметре воздуха находится свыше 10^{19} молекул. Поэтому не только наши органы чувств, но и отдельные клетки, из которых они построены, состоят из миллиардов атомов.

Восприятие мира живым организмом обязаны сумме огромного числа случайных событий. И посему для нас с вами окружающая среда кажется неизменной: флуктуаций мы не замечаем. Так закон больших чисел превращает случайное в необходимое.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ

Теория и опыт дружно шли рука об руку. Большие успехи были достигнуты благодаря новому подходу, главная идея которого такова: нет смысла обсуждать характер движения отдельной молекулы иначе как на языке теории вероятностей.

Первоначально казалось, что вероятностный подход к молекулярным явлениям — это вынужденная и непринципиальная уступка практическим обстоятельствам.

— Конечно, — рассуждали математики и физики, — если бы мы знали в какое-то мгновение координаты всех молекул и их скорости, то могли бы предсказать судьбу мира.

— Каким образом?

— В принципе очень просто. Надо составить для каждой молекулы дифференциальное уравнение движения и затем решить эту систему.

— Простите. А сколько будет таких уравнений?

— Миллиард миллиардов или что-нибудь в этом роде.

— Но сколько потребуется?..

— Да, да, конечно, это невозможно, очень много времени потребуется. Но важно знать, что в принципе такая задача выполнима.

В XX веке подобная позиция кажется крайне наив-

ной. Почему иадо бояться прнзнання случайиостн индивндуальиых событий, из которых складывается наблюдаемое явлеине? Скорее всего это боязиь предоставить, так сказать, природе волю: вдруг оиа перестаиет слушаться законов. Но страхн этн совершеино пустые.

Налнчне в прнроде случайных событнй ии в коей мере ие озиачает, что у иее есть какая-то возможиость выйти из подчиненния законам.

Прогресс молекуляриой физнкн приносил все время подтвержденне этому принцнпу и в то же время ставнл под сомнеине строгнй механнческнй детермииизм. Действнтельио, что толку в возможностн предсказать поведеине мира в «приицнпе», если это практнческн иеосуществимо. Представьте, что нз миллиарда миллиардов молекул вы ие знаете координаты лишь одиой нз них. Этого мнзерного иезиания достаточно, чтобы вся предопределеиность в поведенин снстемы полетела бы вверх тормашкамн.

Такнм образом, вероятиостный подход — это ие подсвечник, которым забивают гвоздь в отсутствие молотка, а новый великолепный инструмеит, позволяющий выполнять главную задачу иаукн — предсказывать факты н при этом ие требующнй невозможиой детализации молекуляриого явлення. Такой подход — не паллиативиая мера, а едннственио правильный выход из положения.

Непоиимаине иеизбежиостн вероятиостного описания сложных событий лежит в основе множества заблуждеиий. Приняв иеобходнмость такой перестройки во взглядах, любой иеформально мыслящий человек мог бы иайти выход из «парадокса свободы воли», мучившего фнлософов миогне века.

Разумеется, утверждеиие, что все предопределеио виешиими условнями, вашимн знаииями и разумом, справедлнво. Однако мозг человека и его иервная система — машнны исключнтельиой сложиости. И практически невозможно перечислнть все факторы, из которых должио выкрнсталлнзоваться его решенне о том нлн ином действнн. Достаточно упустнть пустяк, чтобы воля оказалась практическн свободиой, а человек — ответствеиным за свон поступкн.

Есть классы явлеиий, где наука отказывается (считает бессмыслеииым) делать предсказаиие едииичиого событня. Я не могу сказать, под каким углом отправится путешествовать электрои, прошедшнй через отвер-

стие пушки кинескопа. Я не могу сказать, куда отклонится (вправо или влево) в данный момент под ударами молекул дрожащее легкое крылышко, подвешенное в сосуде с сильно разреженным газом. Я не могу сказать, в какую точку земной поверхности упадет листок, сорванный ветром с дерева. Я не могу сказать, сработает ли сейчас условный рефлекс, выработанный у собаки. Я не могу сказать, как среагирует на оскорбление именно этот юноша. Я не могу сказать, понравится ли картина Пикассо вот этой девушке... Однако это совсем не значит, что речь идет о незакономерных явлениях.

Про один электрон я ничего не могу сказать заранее. Но про миллиарды миллиардов могу. Я сумею предсказать, какая доля электронов под каким углом отклонится при выходе из отверстия. Я могу предложить формулу, которая предскажет среднюю амплитуду колебания крылышка в газе. На основании экспериментальных исследований воздушных потоков я вычислю, как уляжется лиственный покров. На основе наблюдений за собакой я сумею предсказать долю положительных ее реакций на раздражитель. Этические и эстетические ценности у каждого человека свои и зависят от его характера и воспитания. Но если я опрошу тысячи юношей и девушек, исследую их вкусы и поведение как функцию воспитания, то достаточно смело предскажу процент юношей, которые не стерпят оскорбления, и долю девушек, которым будут нравиться картины Пикассо.

Цель нашей книги — мы не раз это подчеркивали — показать всеобъемлющее значение метода исследования, использующего теорию вероятностей. Но в мире молекул вероятностный подход приобретает исключительное значение из-за того, что в обычных условиях отклонения от средних величин (флуктуации) ничтожно малы.

«Но флуктуации все же есть! — вправе возразить читатель. — Пусть они малы, но почему нельзя допустить взрыв парового котла из-за флуктуации плотности? В какой-то момент двинулись все молекулы в одну сторону, и готово. Вот вам и чудесный случай, сводящий на нет все предсказания науки».

Но не взлетают котлы на воздух без вполне реальной причины. И случайности в поведении молекул не приводят к непредсказуемому поведению вещей. Коле-

баиия давлеиия, плотиости, температуры, эиергии и любых других величии, которые происходят из-за хаотичиости движеиия молекул или, как говорят, благодаря флуктуациям, слишком иичтожиы, чтобы породить чудо.

Оцеиим вероятиость совершеиио пустяковой флуктуации плотиости газообразиого вещества. Мыслеиио разделим сосуд с газом иа миллиард ячеек. Теперь посчитаем, какова вероятиость такого события, как удалеиие всех молекул из одиой из этих ячеек.

Вероятиость отклоиеиия от равиомериого распределеиия плотиости подсчитывается без труда. Вероятность того, что одиа молекула иаходится там, где иам хочется, равиа 0,999999999. А вероятиость иахождеиия во всех ячейках, кроме одиой, всех N молекул будет равна $0{,}999999999^{N}$. На первый взгляд может показаться, что это число близкое к едииице. Но ие иадо забывать, что речь идет об огромиом числе молекул. Пусть их в сосуде всего лишь 10^{19}. Простая арифметика показывает, что искомая вероятиость будет равиа 10 в степеии $(-4 \cdot 10^{10})$, то есть едииице, поделеииой иа едииицу с сорока миллиардами иулей $\left(P = \frac{1}{4 \cdot 10^{10}}\right)$. Коммеитарии, как говорится, излишии.

Имеиио благодаря тому, что вещи, с которыми мы имеем дело в жизни, построеиы из иевообразимо большого числа молекул, они ие могут преподиести иам иикаких вероятиостиых сюрпризов.

Новый подход привел к созданию важиейшего раздела физики: родилась статистическая физика, переписавшая иа языке молекул и вероятиостей всю термодииамику (учеиие о тепле) и проложившая иеожидаииые мостики между явлеииями, которые, как казалось раиее, ие имели между собой иичего общего.

Поговорим подробиее об этих важиейших приложеииях теории вероятиостей.

ЭНЕРГИЯ СОХРАНЯЕТСЯ

Закои сохраиеиия эиергии вряд ли можио рассматривать как чисто опытиое правило. В закоие содержатся два утверждеиия: первое — эиергию иельзя получить из иичего, и второе — эиергия ие может бесследио пропасть.

Первая половина этого утверждения известна как закон невозможности вечного двигателя (перпетуум-мобиле).

Уже давно человечество пришло к досадному заключению, что создание двигателя, который ничем не питается, вещь невозможная. Да и человеческой психологии представляется весьма естественным положение, что «без труда не выловишь и рыбку из пруда». Поэтому осуществление вечного двигателя представлялось научным деятелям средних веков задачей столь же божественной, как и изобретение философского камня или живой воды.

Однако многие наши научные предшественники не рассуждали согласно логике XX века. Признавая, что получение энергии из ничего противоречит всему, чему учит жизнь, они тем не менее отважно пускались на поиск вечного движения.

Об осуществлении перпетуум-мобиле мечтает Бертольд, герой «Сцен из рыцарских времен» Пушкина. «Что такое перпетуум-мобиле?» — спрашивает его собеседник. «Это вечное движение, — отвечает тот. — Если найду вечное движение, то я не вижу границ творчеству человека. Делать золото — задача заманчивая, открытие может быть любопытное, выгодное, но найти разрешение перпетуум-мобиле...»

Вечный двигатель — это машина, которая должна не только преодолевать неизбежно возникающие силы трения, но и вращать колеса или подымать грузы снизу вверх. Работа эта должна происходить вечно и непрерывно, а двигатель не должен требовать ни топлива, ни рук человеческих, ни энергии падающей воды — словом, ничего взятого извне.

Первый в истории, дошедший до наших дней, достоверный документ об «осуществлении» идеи вечного двигателя относится к XIII веку. Любопытно, что спустя шесть веков, в 1910 году, в одно из московских научных учреждений был представлен на «рассмотрение» «проект» буквально такого же двигателя. Мы помещаем его изображение на этой странице и думаем, что многие с ним знакомы. При вращении колеса грузы перекидываются вправо и поддерживают, по мысли изобретателя, тем самым движение, так как откинувшиеся грузы давят гораздо сильнее, действуя на более далеком от оси расстоянии (большее плечо). Построив эту отнюдь

не сложную «машину», изобретатель убеждается, что, повернувшись по инерции на один или два оборота, колесо останавливается. Но это не приводит его в уныние. Он думает, что где-то допущена ошибка и достаточно удлинить рычаги или изменить форму выступов, как машина заработает. И бесплодная работа, которой многие доморощенные изобретатели посвящали всю свою жизнь, продолжается, но, разумеется, с тем же успехом.

Вариантов вечных двигателей предлагают в общем немного: разнообразные самодвижущиеся колеса, в принципе не отличающиеся от описанного; гидравлические двигатели, использующие сифоны, капиллярные

трубки или потерю веса в воде; притяжение железных тел магнитами — вот, по сути дела, и все. Далеко не всегда, правда, можно было догадаться, за счет чего же должно происходить вечное движение.

Еще до установления закона сохранения энергии утверждение о невозможности перпетуум-мобиле мы находим в официальном заявлении Французской академии, сделанном в 1755 году. На своем заседании «бессмертные» решили не принимать больше для рассмотрения и испытания никакие проекты вечных двигателей.

Многие механики XVII—XVIII веков уже клали в основу своих рассуждений аксиому о невозможности перпетуум-мобиле, несмотря на то, что понятие энергии и закон сохранения энергии вошли в науку много позже.

Таким образом, можно сказать, что та часть закона сохранения энергии, которая относится к возникновению энергии, носит эмпирический характер.

Иначе обстоит дело со второй половиной закона, утверждающей, что энергия не пропадает... Откуда это видно? Совсем наоборот. Закрутили рукой колесо, руку отняли — остановится. Кием наподдали бильярдный шар — через две-три секунды его энергия исчезла. Вот вы сняли с плиты чайник. Весело подпрыгивающая крышка постепенно успокаивается, струя идущего из носика пара слабеет и прекращается вовсе, а еще через час даже нельзя сказать, что чайник недавно кипел. Куда делась энергия?

На все эти вопросы отвечают — энергия рассеялась. Но чем эта фраза лучше утверждения — энергия исчезла?

Понять, куда девается энергия, можно лишь в том случае, если допустить, что весь мир построен из мельчайших движущихся частичек — молекул и атомов. Только на этом пути надо искать опытные подтверждения сохранения энергии.

Тщательные наблюдения показывают, что потеря механической энергии сопровождается большей частью нагреванием окружающих предметов.

Переверните велосипед колесами кверху. Раскрутите педалями заднее колесо. Подшипники у велосипеда превосходные, и колесо будет вращаться долго. Но в конце концов оно остановится. Если я вам скажу, что в результате пропажи механической энергии колеса на-

грелнсь воздух н подшипннк, то вы можете мне не поверить (иагрев иезначительиый). Но попробуйте остановить колесо рукой. Осторожней, а то обожжете ладонь. Теперь вы в полиом смысле сиова «ощутили» переход механической энергин в тепло. Как же этот простой факт спасает закои сохраиеиия? Очеиь просто. Чем выше температура тела, тем быстрее движутся частичкн. Следовательно, повышение температуры (рукн, воздуха, подшнпинков) говорит об увеличеиии эиергии-движеиия молекул. Значнт, вндимая пропажа механнческой энергии, то есть эиергии двнжеиия большнх тел, сопровождающаяся нагревом, есть не что иное, как превращеиие энергии движеиия большнх тел в энергию двнжения частичек.

Как проверить эту гипотезу?

Прежде всего иадо иайти общую меру механнческой эиергин и виутреиией тепловой эиергин илн, что то же самое, общую меру работы н тепла.

Первый опыт для установления колнчествеииого соотиошеиия между теплом н работой был проделан нзвестиым фнзнком Румфордом (1768—1814 гг.). Он работал иа оруднйиом заводе, где изготовляли пушки. Когда сверлили канал ствола орудня, то выделялось тепло. Как оценить его? Что принять за меру тепла? Румфорду пришло в голову поставить работу, производимую прн сверленин, в связь с иагреванием того нлн иного количества воды, идущей иа охлаждеиие ствола, иа то или нное число градусов.

Для этого, коиечио, надо проводить сверлеиие в воде. Сопоставляя велнчину произведенной (пропавшей) работы с количеством возинкшего тепла (произведенне массы воды на прирост температуры), можно прнйти к заключенню, что исчезиовение механической энергнн сопровождается появленнем пропорционального колнчества теплоты. Подобиыми опытами и была иайдена общая мера тепла и работы.

Первоначальиое определение так называемого механического эквивалеита теплоты дал фраицузский физик Сади Карио. Этот выдающийся исследователь скоичался в 36-летием возрасте в 1832 году и оставнл после себя рукопись, которая была опубликована лншь спустя 50 лет. Открытие Карно оставалось нензвестным н не повлияло иа развнтне наукн. А ои весьма строго установил, что подъем одиого кубического метра воды

(1 тонна) на высоту одного метра требует такой же энергии, какая нужна для нагревания одного килограмма воды на 2,7 градуса (точнее, 2,3 градуса).

В 1842 году публикует свою первую работу гейльброннский врач Юлиус Роберт Майер. Хотя Майер называет знакомые нам физические понятия совсем подругому, все же внимательное чтение его работы приводит к выводу, что в ней изложены существенные черты закона сохранения энергии. Майер различает внутреннюю энергию (тепловую), потенциальную энергию тяготения и энергию движения тепла. Он пытается чисто умозрительно вывести обязательность сохранения энергии при различных превращениях. Чтобы проверить это утверждение на опыте, надо иметь общую меру для измерения этих энергий. Майер вычисляет, что нагревание килограмма воды на один градус равноценно поднятию одного килограмма на 365 метров.

Во второй своей работе, опубликованной три года спустя, Майер отмечает универсальность закона сохранения энергии — возможность применения его в химии, биологии и космических явлениях. К различным формам энергии Майер добавляет магнитную, электрическую и химическую.

Большая заслуга в открытии закона сохранения энергии принадлежит замечательному английскому физику (пивовару из Сальфорда в Англии) Джемсу Прескотту Джоулю, работавшему независимо от Майера.

Если Майер полагает, что законы природы могут быть выведены путем одних рассуждений (гегелевский подход к миру, типичный для немецкой идеалистической философии того времени), то основной чертой Джоуля является строгий экспериментальный подход к явлениям. Джоуль задает природе вопрос и получает на него ответ путем глубоко продуманных, целеустремленных опытов. Нет сомнения, что при их проведении он одержим одной идеей — найти общую меру тепловых, химических, электрических и механических действий, показать, что во всех этих явлениях энергия сохраняется. Джоуль сформулировал свою мысль так: «В природе не происходит уничтожения силы, производящей работу, без соответствующего действия».

Первая работа Джоуля докладывалась им 24 января 1843 года, а 21 августа того же года Джоуль доложил свои результаты по установлению общей меры те-

пла и работы. Нагревание килограмма воды на один градус оказалось равноценным подъему одного килограмма на 460 метров.

В последующие годы Джоуль затрачивает много труда иа то, чтобы уточнить значение и доказать полную уинверсальность теплового эквивалента. К коицу 40-х годов становится ясно, что количествс возннкающей теплоты будет пропорциональио количеству затраченной работы всегда — вие зависимости от способа перехода работы в тепло.

В том же XIX веке было установлено, что нельзя «бесплатно» расплавнть кусок льда. Впервые был осуществлен опыт, ставшнй впоследствии классическнм школьиым и который можно повторить в любое мгновение. Попробуем его описать. Возьмите несколько кусочков льда из холодильника и бросьте их в стакан, вставьте в ледяное крошево термометр и всю эту «эксперимеитальную установку» водрузите иа плиту. Результат опыта неизменен: пока лед ие растает, градусиик будет показывать все время ноль градусов. Итак, энергия потрачеиа (газ сгорел), но она не нагрела, не возбудила движение. Куда же она девалась?

До сих пор, говоря об энергии молекул, мы подразумевали только энергню их двнжеиия. Но механическая энергия тел бывает двух сортов: энергия двнжения (кинетнческая) н энергия, определяющаяся взаимодействием этого тела с Землей или соседними телами, так называемая потенциальная энергня.

Камеиь на высокой горе обладает большей потенциальной энергией, чем тот же камеиь, лежащий иа вершине холмнка. Два шарика, сжатые мягкой пружиной, обладают меньшей энергней, чем два шарика, сжатые жесткой пружниой (если эти шарики освободить от связн, они разлетятся с большей скоростью). Вполне естествеиио распространить ту же ндею иа молекулы и предположить: чем сильиее связаны молекулы, тем больше внутрениям потеициальная эиергня тела. Чтобы все стало понятно в опыте со льдом, иадо лишь принять, что в твердом льде молекулы связаны друг с другом снльнее, чем в жидкой воде. Нагрев без повышеиня температуры означает, что энергия, затраченная на плавление, ушла на замену снльных связей более слабыми, Впрочем, если продолжать греть воду, иагревая, превратнть ее в пар, то, подсчнтав суммариые расходы, мож-

но сказать, сколько энергин потребовалось на полное разрушенне связей между молекулами.

Обоснованне закона сохранения энергнн на этом позвольте закончнть. Мы утверждалн, что видимые пропажн энергнн — это на самом деле переходы ее во внутреннюю энергию тела. Еслн же рассматривать все молекулы в каком-нибудь замкнутом объеме (замкнутая снстема), то для него закон сохранения будет звучать так: суммарная механнческая энергня молекул не меняется. Впервые закон сохранення в таком внде был

сформулирован Германом Гельмгольцем на заседании Берлинского физического общества 23 июля 1847 года.

Переход механической энергии во внутреннюю энергию тела — типичный случайный процесс. Бессмысленно спрашивать, как изменились положение или скорость какой-то определенной молекулы в результате такого перехода. Грамотная постановка вопроса такова: чему равна вероятность того, что молекула сдвинется со своего места на такое-то расстояние, или изменит свою скорость на столько-то процентов, или разорвет свою связь с соседками.

Глубокое понимание превращения энергии невозможно без использования теории вероятностей.

Далеко не всегда закон сохранения можно проверить. Попробуй, например, докажи на опыте, что энергия остается неизменной во время замедленного движения катящегося по бильярдному сукну шара. Однако число случаев, когда в самых сложнейших явлениях баланс затрат и доходов сходится «до копейки», столь велико, что вера в универсальную справедливость закона является категорической у всех естествоиспытателей. Без сомнения, эта вера не подвергалась бы сомнениям, если бы не молекулярно-кинетическое обоснование закона. В свою очередь, молекулярно-кинетическая гипотеза перестала быть гипотезой, а стала фактом лишь после исследования броуновского движения. А что касается броуновского движения, то его анализ был бы невозможен без привлечения вероятностных соображений.

Так что же, дорога от игры в «орел» и «решку» ведет к закону сохранения энергии?

Без сомнения. И это не так уж удивительно. Мало найдется областей знания, к которым не тянутся нити, и не только нити, но и канаты, от идей вероятности.

САМЫЙ ТРУДНЫЙ ПАРАГРАФ

Человеку нужны машины, а чтобы они работали, надо уметь создавать движение — двигать поршни, вращать колеса, тянуть вагоны поезда. Движение машин требует работы. Как получить ее?

Казалось бы, вопрос ясен: работа происходит за счет энергии. Надо отнять у тела или системы тел энергию — тогда получится работа.

Рецепт вполне правилен. Но как совершить такое превращение? Всегда ли возможно отобрать энергию у тела? Какие для этого нужны условия?

Мы сейчас увидим, что почти вся энергия, имеющаяся вокруг нас, совершенно бесполезна: она не может быть превращена в работу, и ее никак нельзя причислить к нашим энергетическим запасам. Разберемся в этом.

Отклоненный от положения равновесия маятник рано или поздно остановится; раскрученное рукой колесо перевернутого велосипеда сделает много оборотов, но в конце концов тоже прекратит движение. Нет никакого исключения из важного закона: все окружающие нас тела, приведенные в движение каким-либо толчком, в конце концов останавливаются.

Если имеется два тела, нагретое и холодное, то тепло будет передаваться от первого ко второму до тех пор, пока температура не уравняется. Тогда теплопередача прекратится, и состояния тел перестанут изменяться: установится тепловое равновесие.

Нет такого явления, при котором тела самопроизвольно выходили бы из состояния равновесия. Не может быть такого случая, чтобы колесо, сидящее на оси, начало бы вертеться само по себе. Не бывает и так, чтобы нагрелась сама по себе кастрюля с водой, поставленная на холодную, незажженную плиту.

Стремление к равновесию означает, что у событий имеется естественный ход: тепло переходит от горячего тела к холодному, но не может самопроизвольно перейти от холодного к горячему.

Механическая энергия колеблющегося маятника благодаря сопротивлению воздуха и трению в подвесе перейдет в тепло. Однако ни при каких условиях маятник не начнет раскачиваться за счет тепла, имеющегося в окружающей среде.

Тела приходят в состояние равновесия, но выйти из него не могут.

Этот важнейший закон природы (его называют вторым началом термодинамики) сразу же показывает, какая часть находящейся вокруг нас энергии совершенно бесполезна. Ею оказывается тепловое движение молекул тех тел, которые находятся в состоянии равновесия. Такие тела не способны превратить свою энергию в механическое движение.

«Мертвая» часть энергии огромна. Если понизить температуру килограмма земной породы на один градус, то он, имеющий теплоемкость 0,2 ккал/кг, потеряет 0,2 большой калории. Это относительно небольшая величина. Однако прикинем, какую энергию мы получили бы, если бы удалось охладить на тот же один градус весь земной шар, масса которого равна $6 \cdot 10^{24}$ килограммов. Умножая, мы получим $1,2 \cdot 10^{24}$ больших калорий. А это баснословная энергия: в настоящее время электроэнергия, вырабатываемая ежегодно электростанциями всего мира, равна $10^{15} - 10^{16}$ больших калорий, то есть в миллиард раз меньше.

Примирившись с тем, что нельзя предложить двигатель, создающий работу из ничего (так называемый вечный двигатель первого рода), и воодушевившись грандиозными числами, которые мы только что привели, горе-изобретатели взялись за конструирование двигателей, работающих за счет одного лишь охлаждения среды (так называемый вечный двигатель второго рода). Однако если водитель транспорта проехал на красный свет даже при минимальной скорости, ему не оправдаться тем, что он ехал с допустимой скоростью в 30 километров в час. Подчиняться надо обоим правилам.

То же относится и к конструкторам двигателей, которые попытались бы защитить свое создание ссылкой на то, что их идеи не противоречат закону сохранения энергии.

Этого мало! Утверждение, что система тел, находящихся при одной температуре, энергетически бесплодна, есть также закон природы.

Итак, для получения работы (то есть отнятия энергии) необходимо прежде всего нарушить тепловой покой. Для этого надо, в свою очередь, затратить энергию. Только тогда удастся осуществить процесс перехода тепла от одного тела к другому или превращения тепла в механическую энергию.

Создание потока энергии — вот необходимое условие получения работы. На «пути» этого потока возможно превращение энергии тел в работу.

Поэтому к энергетическим запасам, полезным для людей, относится энергия лишь «неуспокоившихся» тел.

Второе начало термодинамики, сущность которого мы изложили, фиксирует факты. Но каков внутренний смысл этого закона? Почему вся вселенная — это доро-

га к равновесному состоянию? Почему предоставленные самим себе тела неотвратимо приближаются к состоянию, когда механическое движение прекращается, а температуры тел уравниваются?

Вопрос этот очень важен и интересен. Кроме того, он труден, но мы подготовлены к ответу на него. Дело заключается в том, что равновесное состояние является наиболее вероятным.

Нам придется потратить одну-две странички на объяснение этой мысли. Прежде всего о самом слове «состояние». Оно употребляется в физике в двух смыслах. А чтобы между ними не путаться, введем два термина, которые несколько некрасивые и громоздкие, но, что поделаешь, зато научные и общепринятые. Итак, надо различать макросостояния тел и их микросостояния.

Термин «макросостояние» совпадает с житейским словом. Помните обычный утренний обмен фразами доктора и сестры в больнице?

— Каково состояние больного? — спрашивает врач.

— Без изменения, — отвечает сиделка, — температура та же, давление и пульс те же самые.

Макросостояние газа, жидкости или твердого тела характеризуются также в первую очередь температурой и давлением. Но, разумеется, теперь речь идет не о давлении крови, а о давлении, которое на тело оказывает окружение. Давление и температура — основные показатели, говорят — параметры, состояния. Если давление и температура не меняются, то с телом ничего не происходит, все свойства его сохраняются.

Другой подход необходим, если речь идет не о газе в баллоне, не о жидкости в сосуде и не о куске твердого тела, а о механической системе: машине, состоящей из множества рычагов и шестеренок, теперь макросостояние будет описано, если указать взаимное расположение частей механизма, а также скорости, с которыми эти части движутся.

Приходится, как видим, и в макросостояниях различать два вида состояний — термодинамическое и механическое. И описываются они разными параметрами.

До того как молекулы вышли на сцену, эти два варианта описания казались совершенно не связанными. Относились они к разным случаям: одно к покоящейся жидкости или газу, другое — к механическим устройствам и ничего общего друг с другом не имели. Пара-

метры, употребительные в термодинамике, — это давление и температура, механические параметры — это координаты и скорости. И одно к другому никогда не сводилось.

Перевод термодинамики на молекулярный язык сразу же выявил наличие мостика между этими двумя описаниями. С точки зрения молекулярной гипотезы всякое тело есть система взаимодействующих молекул, то есть не что иное, как механическая система, нечто вроде рычагов и шестеренок. А состояние такой системы задается, как мы только что видели, взаимным расположением и скоростями ее частей — в нашем случае молекул. Что же, оказывается, дело обстоит не так уж сложно? Термодинамическое макросостояние есть не что иное, как механическое состояние системы молекул?

Осторожнее, повремени с таким заключением. Если немного подумать, то станет ясно, что дело обстоит не так уж просто.

В термостате стоит стакан с жидкостью. Ее температура и давление неизменны. Термодинамическое состояние ее в каждое мгновение одно и то же. Кажется, она — само постоянство и покой. Но ведь молекулы этой жидкости совершают свой вечный тепловой танец! Значит, механические состояния молекул, которые образуют эту самую жидкость, меняются каждое мгновение! Значит, постоянство и покой обманчивы и жидкость живет бурной жизнью?!

Раз уж механическое состояние системы молекул, составляющих жидкость, не отражает ее «макроскопического спокойствия», то назовем его иначе: термин — «микросостояние» будет подходящим по смыслу дела. Теперь мы скажем: каждое состояние (макросостояние) осуществляется беспрерывной сменой огромного числа микросостояний.

Представьте себе, что система состоит из трех перенумерованных молекул. Микросостояние системы будем описывать донельзя грубо, а именно, поделим сосуд, в котором носятся эти три молекулы, на три отсека, а что касается скорости, то разобьем их на две группы — до 1 км/сек (малая скорость) и больше 1 км/сек. Каково будет число микросостояний в этом смехотворно простом случае? Считайте, 8 вариантов распределения скоростей и 27 вариантов положений, то есть $27 \times 8 = 216$ микросостояний для модели газа, упрощенной до смешного!

ВАРИАНТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЙ

1	2	1,2	3	1,3		2,3		1,2,3
2	3	3	1,2	2	1,3	1	2,3	
3	1				2		1	
1	3	1,2	3	1,3	2	2,3	1	
3	1							1,2,3
2	2	3	1,2	2	1,3	1	2,3	
2	3			2		1		
1	2	1,2	3	1,3	2	2,3	1	
3	1	3	1,2		1,3		2,3	1,2,3

ВАРИАНТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

ББФ МММ
МББ БМБ
ББМ БММ
МБМ ММБ

Нетрудно понять, что в реальных случаях, когда для характеристики системы требуется задать точно месторасположение и скорости миллиарда миллиардов молекул, числа микросостояний, относящиеся к одному макросостоянию, становятся непредставимо большими.

В маленьком газовом баллончике модной зажигалки носятся молекулы газа, который зовется пропаном. Каждое мгновение расположение молекул и их скорости меняются, каждое мгновение — другое микросостояние.

Но хотя число микросостояний огромно, оно все же не бесконечно велико. Физики могут сосчитать число микросостояний в баллончике зажигалки. Так как мне не-

известны технические параметры этой зажигалки, то я могу сообщить лишь порядок интересующей нас величины. Число микросостояний в баллончике записывается 10^{17} цифрами!!! Число печатных знаков в книжке, которую вы читаете, меньше миллиона (10^6). Значит, чтобы записать интересующее нас число микросостояний, потребовалась бы книга в сто миллиардов раз (10^{11}) более толстая, чем эта.

Надеюсь, что мне удалось поразить ваше воображение, но моя задача не в этом. Цель этого самого трудного параграфа — показать фундаментальную роль теории вероятностей в учении о равновесии тел. К этой цели мы приблизились вплотную, но, чтобы вы отдохнули, мне хочется разрешить себе немного пофилософствовать на тему о трудности популярного изложения научных истин.

В какой бы форме нам ни преподносилось научно-популярное сочинение, оно всегда будет представлять собой рассказ о научных фактах и идеях.

Разговор может идти в двух тональностях. Первая возникает тогда, когда автор ставит перед собой задачу дать ответ на вопросы «как?»; вторая — в тех случаях, когда предстоит ответить на вопросы «почему?».

Различие между этими двумя вариантами изложения научных истин велико. В первом — задача литератора состоит в том, чтобы вести неторопливый рассказ, не забыть важные детали, заботиться об образности изложения, прибегать к повторениям, заставляя этим читателя держать перед глазами всю картину события. Нет проблемы такой степени сложности, чтобы ее нельзя было осветить ответами на вопросы «как сделано?», «как построено?», «как работает?»... на любом уровне подготовки читателя.

Во втором случае задача совсем другая. Дать ответ на вопрос «почему?», значит показать, что некое событие или идея вытекают из других положений более общего характера. Но показать, что частное следует из общего, можно лишь методами логики, а еще лучше — методами математики.

Задача литератора, вступившего на тяжелый путь ответов на вопросы «почему?», неизмеримо сложнее трудностей, с которыми сталкивается автор, описывающий ледники Кавказских гор или устройство моторного катера с новыми обводами. Ему надо тщательно выде-

лить аксиомы, лежащие в основе объяснения, уменьшить для облегчения восприятия высоту логических ступеней, ведущих от основания к вершине объяснения.

Чтобы объяснение «дошло», читатель должен держать в памяти одновременно все логические переходы, и каждый из них должен быть настолько ясным, чтобы казаться само собой разумеющимся.

Поэтому-то тяжело приходится и автору и читателю.

Подобные трудности возникают и при рассказе о применении теории вероятностей к исследованиям газов.

Напоминаем, что макросостояние тела реализуется беспрерывно меняющимися микросостояниями. Число различных микросостояний огромно, но вычислять его физики умеют. Как это нужно делать, показал Людвиг Больцман.

А зачем нужно знать эти числа, которые нельзя записать цифрами, даже истратив на это все мировые запасы бумаги? Какой смысл они имеют?

Если вы внимательно прочитали предыдущие части книги, то вы сами поспешите с ответом. То, что число способов осуществления того или иного результата события пропорционально вероятности результата, вы знаете, не правда ли? А теперь мы выяснили, что число микросостояний есть число способов реализации макросостояния.

По законам логики из этих двух позиций железно следует, что число микросостояний пропорционально вероятности макросостояния.

Вероятность состояния... Как понять сочетание этих двух слов? В самом прямом смысле. Как всегда, вероятности познаются в сравнении. Что вероятнее: стакан горячего чая с лежащим на дне куском сахара или стакан горячего чая с растворившимся в нем сахаром? Что вероятнее: раскаленный кусок железа, лежащий на земле, или кусок железа, принявший температуру почвы?

Слишком простые вопросы, скажет читатель. Согласен. Но сумели бы вы на них ответить без помощи теоремы Больцмана, которую мы сейчас разъясняем? Оказывается, переход к равновесию является дорогой к наиболее вероятному состоянию.

Мне остается убедить вас в том, что вероятность состояния (равная числу микросостояний, которыми

она осуществляется) действительно достигает максимума при равновесии.

Попробуем прийти к этому выводу с помощью аналогии. Раскроем книгу на странице 68 и вспомним смысл чисел, образующих тридцатую строку чудесного треугольника Паскаля. Напоминаю, что каждое число показывает, сколькими комбинациями можно прийти к одному макроскопическому результату, к одному состоянию. Общее число бросков рулеточного шарика равно 30. Поэтому макросостояние в тридцать «красных» (начало строки) осуществляется 1 способом, двадцать девять «красных» и один «черный» (следующее число строки) — 30 способами, двадцать восемь «красных» и два «черных» (третье число строки) — 435 способами... 15 «красных» и 15 «черных» (середина строки) — 155 117 520 способами. Разные способы осуществления одного и того же результата (то есть одного и того же отношения «черного» и «красного»), но отличающиеся лишь разным порядком их выхода, — превосходные аналоги макросостояния.

Каковы признаки наиболее вероятного макросостояния? Примерно равное количество «красного» и «черного», отсутствие преимущества того или другого цвета, наибольший беспорядок. Действительно, можно сказать: наиболее беспорядочными являются те серии бросков, что в середине строки, то есть те случаи, когда «черное» и «красное» подравниваются. Упорядоченными сериями являются такие, в которых наблюдается большой перевес одного цвета. Полный порядок — это одноцветная серия. Треугольник Паскаля показывает, что беспорядочные серии встречаются много чаще упорядоченных. Нетрудно понять, распространив этот вывод на мир молекул, для изображения которого с помощью треугольника Паскаля потребовалось бы число его строк довести до миллиарда миллиардов, что вероятности беспорядочных серий будут в невообразимое число раз превосходить вероятность порядка.

Аналогия, конечно, не всегда совершенный способ доказательства, но все же я надеюсь, что эти выводы читатель примет без внутреннего протеста. Для системы молекул беспорядок означает отсутствие особенных направлений движения, отсутствие особых мест скопления молекул, отсутствие каких-либо часто встречающихся

скоростей. На языке рулетки это и значит — примерно равное число «черного» и «красного».

Из нашей аналогии следует далее, что неравновесное состояние является менее вероятным. Раз оно неравновесно, то в нем нарушены устойчивые пропорции быстрых и медленных молекул, плотность неоднородна по объему, имеются преимущественные направления движения молекул... То есть «черного» много больше, чем «красного».

Несколько страниц назад я принялся разъяснять фразу: «равновесное состояние является наиболее вероятным». Надеюсь, что я справился с этой задачей. Мы увидели, что наблюдаемое состояние тела осуществляется огромным числом микросостояний; выяснили, что число микросостояний пропорционально вероятности макросостояний; методом аналогии показали, что вероятность состояния возрастает с беспорядком в расположении и движении частиц. Из всего этого по законам логики мы пришли к этой действительно емкой фразе, усвоение которой, я боюсь, потребовало от читателя некоторого напряжения.

В студенческие годы мне попала в руки толстая книга в ярко-синем переплете, изданная в Томске. Это был курс термодинамики. В предисловии автор писал:

«Хочу предупредить учащихся о том, что понятие энтропии усваивается с большим трудом. Я лично понял, что такое энтропия, примерно после двадцати лет педагогической деятельности».

Я помню, как изумила меня наивная и откровенная скромность автора.

Содержание только что прочитанного параграфа приведет нас, как вы сейчас увидите, к понятию энтропии. Так что, если вам было трудно, не удивляйтесь.

ОБЕЗЬЯНА ЗА ПИШУЩЕЙ МАШИНКОЙ

Второе начало термодинамики является железным законом природы. На предыдущих страницах мы попытались сформулировать его на языке вероятности. Мы увидели, что равновесное состояние систем наиболее вероятное, и поэтому вполне понятно стремление всех тел и систем перейти к покою или, вернее, к «мертвой жизни». И вот вопрос — раз речь идет «всего лишь»

о вероятностном законе, то почему не допустить, что второе начало может нарушаться и тела самопроизвольно могут выходить из положения равновесия? Зафиксированы же в истории Монте-Карло серии из двадцати двух выпадений красного подряд?!

Строгое подчинение природы второму началу термодинамики есть, конечно, следствие закона больших чисел.

Вместо десятков и сотен тысяч событий, фигурирующих в отчете игорного дома, в мире молекул мы оперируем числами, выражающимися единицей с двадцатью нулями. Поэтому самые крошечные вероятности редчайших и драматических событий, случающихся в Монте-Карло, в миллиарды миллиардов раз превосходят вероятности самопроизвольного отклонения системы молекул от положения равновесия. Но если все те же законы больших чисел не запрещают абсолютно появления невероятных событий, то интересно узнать, какова вероятность «невероятного» события.

Посадим шимпанзе за пишущую машинку. Посмотрев, как бойко отстукивает страницу человек, обезьяна тоже начинает печатать. Буква за буквой, строка за строкой... Через полчаса, выкрутив обезьянью страницу из машинки, читаем:

Не мысля гордый свет забавить,
Вниманье дружбы возлюбя,
Хотел бы я тебе представить
Залог достойнее тебя...

Возможно? А почему нет? Шимпанзе колотит по клавишам как попало. Последовательность букв может быть любой, так как они равновероятны. А вычислить вероятность каждой из них и в том числе четырех строк, открывающих «Евгения Онегина», абсолютно просто. Букв в алфавите, будем считать, тридцать. Вероятность «н» на первом месте — равна одной тридцатой $\frac{1}{30}$; вероятность «не» — $\frac{1}{900}=\left(\frac{1}{30}\right)^2$, вероятность «не м» — $\frac{1}{2700}=\left(\frac{1}{30}\right)^3$ и так далее. Всего букв в четырех строках 86. Вероятность напечатать случайно эти четыре строки равна одной тридцатой в восемьдесят шестой степени $\left(\frac{1}{30}\right)^{86}$. Это

число равио 10^{-127}, то есть единице, поделеииой иа единнцу со 127 нулями.

Велика или мала вероятиость обезьяньего геиия? Чнсло вроде бы совершеиио мизерное, ио сравиим его с вероятностью отклоиеиия тела от равиовесия. Подберем прнмер иарушеиия равиовесия, где была бы такая же вероятиость.

Скажем так, если тело иаходится в тепловом покое, то, разумеется, все его точки нмеют одииаковую температуру. Но имеется все же крошечиая вероятиость, что второе начало термодинамнки иарушится. Так что в прииципе возможно, что на одном конце булавки температура вдруг ии с того ии с сего стаиет выше, чем на другом. Чем больше отклоиеиие, тем меньше его вероятиость. На сколько же долей градуса иарушнтся второе иачало с вероятиостью в 10^{-127}, то есть с той вероятностью, с которой обезьяиа сочиннла пушкииское четверостишие? Можно рассчитать — оказывается, на 10^{-16} градуса. А это очень и очень далеко за пределами измерительной техиики. Даже вероятность создания всего «Евгеиия Онегииа» методом случайиого «тыка» в клавиши — а оиа равиа что-то $10^{-150000}$ — в миллиои раз больше вероятности флуктуации температуры, которую можио было бы обнаружить обычиыми приборами.

Пожалуй, приведеиные даиные достаточио красиоречивы, и я иадеюсь, что доказал читателям полную иевозможность самопроизвольного выхода из равиовесия окружающих иас тел. А этим, в свою очередь, доказал невозможиость создания вечного двигателя второго рода. Неизмеримо вероятиее обезьяие иаписать собраиие сочииений Пушкина, чем создать захудаленький вечиый двигатель, выкачивающий тепло из окружающей среды.

Превосходной моделью, иллюстрирующей иезыблемость вероятиости равновесиого состояиия, служит ящик, в который засыпают черные и белые зериа. Если их перемешать лопаткой, то скоро оин распределятся равномерно по всему ящику.

Зачерпиув иаудачу горсть их, мы иайдем в ией примерио однпаковое чнсло белых н черных зереи. Сколько бы мы нн перемешивалн, результат будет все время тем же — равиомериость сохраняется. Но почему не происходит разделеиия зереи? Почему долгим перемешиваиием не удастся чериые зериа переместить вверх, а белые вниз?

Все дело в вероятности. Такое состояние, при котором зерна распределены беспорядочно, то есть черные и белые равномерно перемешаны, может быть осуществлено огромным множеством способов (любые два зернышка — черное и белое — можно поменять местами, а беспорядок останется беспорядком) и, следовательно, обладает самой большой вероятностью. Напротив, такое состояние, при котором все черные зерна окажутся вверху, а белые внизу, единственное (ни одного черного зернышка нельзя заменить на белое; как только это сделаешь, полный порядок пропал). Поэтому вероятность его осуществления ничтожно мала.

Вечное тепловое движение непрерывно перетасовывает молекулы, перемешивает их так, как это делает лопатка с зернами в ящике.

ЭНТРОПИЯ

Внесем небольшое терминологическое изменение в закон о максимальной вероятности равновесного состояния.

Очень часто в физике величины, которые меняются в больших пределах, заменяют их логарифмами.

Напомним, что такое логарифм. Когда я пишу о науке для так называемого массового читателя, для читателя вообще («дженерал ридер» — по-английски) и вынужден использовать какой-либо термин, который в науке имеет такое же самое распространение, как, ну скажем, поэма в литературе, то впадаю в смущение. Объяснять?! Можно обидеть читателя, который вправе сказать: «За кого ты меня принимаешь, неграмотный я, что ли?» Не объяснять? А вдруг он позабыл и не поймет того, о чем будет говориться дальше. Поэтому все же напомню: $10^2 = 100$; $10^3 = 1000$; $10^4 = 10000$ и т. д. Числа 2, 3, 4 и т. д. представляют собой десятичные логарифмы 100, 1000, 10000 и т. д. Как видим, само число возросло в сто раз, а логарифм лишь вдвое.

Логарифмы оказываются полезными и в нашем случае. Вместо того чтобы пользоваться «вероятностью состояния», в обиход вводят «логарифм вероятности состояния». Этот логарифм и называется энтропией.

Закон природы, согласно которому тепло не перехо-

дит от холодного к горячему, маховик не раскручивается за счет охлаждения оси и прилегающего к нему воздуха и раствор медного купороса не делится на воду и купорос, кратко формулируется так: энтропия в естественных процессах всегда растет.

Закон возрастания энтропии — важнейший закон природы. Из него вытекает, в частности, и невозможность создания вечного двигателя второго рода, и, что то же самое, утверждение, что предоставленные сами себе тела стремятся к равновесию.

Закон возрастания энтропии иногда называют «вторым началом термодинамики» (термодинамика — учение о тепле). А что такое первое начало? Это закон сохранения энергии.

Название «начала термодинамики» для этих законов природы сложилось исторически. Нельзя сказать, что объединение «под одну шапку» обоих начал было делом удачным. Ведь закон сохранения энергии — это механический закон, которому подчиняются неукоснительно как большие тела, так и отдельные атомы и молекулы. Что же касается закона возрастания энтропии, то, как следует из сказанного выше, он применим лишь к достаточно большому собранию частиц, а для отдельных молекул его просто невозможно сформулировать.

Статистический (это и означает — относящийся к большому собранию частиц) характер второго начала термодинамики нисколько не принижает его значения. Закон возрастания энтропии предопределяет направление процессов. В этом смысле энтропию можно назвать директором-распорядителем природных богатств, а энергия служит у нее бухгалтером.

Кому же принадлежит честь открытия этого важного закона природы? Здесь нельзя ограничиться одним именем. У второго начала термодинамики есть своя история.

Как и в истории первого начала термодинамики, в первую очередь должно быть упомянуто имя француза Сади Карно. В 1824 году он издал на свои средства печатный труд под названием «Размышления о движущей силе огня». В этой работе впервые было указано, что тепло не может переходить от холодного тела к теплому само собой без затраты работы. Карно показал также, что максимальный коэффициент полез-

ного действия тепловой машины определяется лишь разностью температур нагревателя и охлаждающей среды.

Только после смерти Карно, в 1832 году на эту работу обратили внимание другие физики. Однако она мало повлияла на дальнейшее развитие науки из-за того, что все сочинение Карно было построено на признании неразрушимого и несоздаваемого «вещества» — теплорода.

Лишь вслед за исследованиями и размышлениями Майера, Джоуля и Гельмгольца, установивших закон эквивалентности тепла и работы, немецкий физик Рудольф Клаузиус (1822—1888 гг.) пришел ко второму началу термодинамики и математически сформулировал его. Клаузиус ввел в рассмотрение энтропию и показал, что сущность второго начала термодинамики сводится к неизбежному росту энтропии во всех реальных процессах.

Все, что мы сказали ранее по поводу истолкования естественного хода процессов, несомненно, очень остроумно и очень похоже на правду. Но тем не менее набросанную картину никак нельзя назвать завершенной. В таком виде наши молекулярно-кинетические рассуждения могут быть скептиками отнесены к разряду болтовни. Так оно, кстати, и было в конце XIX века. О наскоках противников молекул на статистическую теорию мы расскажем чуть ниже. Но уже сейчас можно утверждать, что выступления сторонников теории, заканчивающиеся чем-нибудь вроде: «Итак, мы показали, что второе начало термодинамики хорошо объясняется молекулярно-кинетической гипотезой», комментировались противниками примерно следующим образом: «Ну что же, гипотеза ваша выиграла, но наука от этого ничего не получила».

Дело заключается в том — об этом мы тоже уже говорили выше, — что теория становится теорией лишь тогда, когда с ее помощью можно что-то предсказать. Объяснения постфактум — это не наука; объяснения постфактум создают лишь ощущение умственного комфорта. Но, право же, ценность теории близка к нулю, если ее значение оказывается аналогичным значимости в нашей жизни удобного кресла.

Таким образом, перед сторонниками молекулярно-кинетической гипотезы встала задача перекинуть мост меж-

ду молекулярными характеристиками и непосредственно измеряемыми физическими свойствами вещества. Мало того, надо было построить такую теорию, которая предсказывала бы, как те или иные свойства вещества будут изменяться с изменением состояния тела, то есть что будет делаться с тем или иным веществом, если растет температура, увеличивается давление...

На пути решения этой грандиозной задачи и возникла новая физика, получившая название статистической физики.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

У нас, конечно, есть все основания говорить, что статистическая физика — это новая физика. Огромность числа частиц тела не позволяет описывать состояние каждой из них. Но в то же время эта огромность позволяет применить к изучению физических тел новые «статистические» методы. Основы статистической физики были заложены замечательным австрийским физиком Людвигом Больцманом (1844—1906 гг.). В серии работ Больцман показал, как осуществить для газов программу построения теории, связывающей средние характеристики молекулярного движения с физическими свойствами.

В 1877 году логическим завершением этих исследований явилось данное Больцманом статистическое истолкование второго начала термодинамики. Формула, связывающая энтропию и вероятность состояния системы, высечена на его памятнике.

Трудно переоценить научный подвиг Больцмана, нашедшего в теоретической физике совершенно новые пути. Исследования этого замечательного ученого подвергались при его жизни насмешкам со стороны консервативной немецкой профессуры: в то время атомные и молекулярные представления считались многими корифеями науки наивными и ненаучными. Больцман покончил жизнь самоубийством, и обстановка, несомненно, сыграла в этом далеко не последнюю роль.

Здание статистической физики было в значительной степени завершено трудами выдающегося американского физика Джошуа Вилларда Гиббса (1839—1903 гг.). Гиббс обобщил методы Больцмана и показал, каким об-

разом можно распространить статистический подход на все тела. Последняя работа его вышла в свет уже в начале XX века. И прошло порядочное число лет, пока его замечательные исследования стали известны всем физикам. А все дело заключалось в скромности. Из-за нее Гиббс печатал свои труды в известиях небольшого провинциального университета.

Что же это за путь, по которому надо идти, чтобы найти связь между хаотическим молекулярным движением и свойствами тела? Как экспериментальным путем измерить вероятность состояния тела?

Одна из самых важных работ Людвига Больцмана показала следующее. Если телу сообщить небольшое количество энергии в форме тепла и разделить затраченное число калорий на температуру, при которой происходит эта передача энергии, то полученное частное будет равняться приросту энтропии. А прирост энтропии, как помнит тот читатель, который не позабыл свойства логарифмов, равен относительному приросту вероятности состояния (ибо разность логарифмов равна логарифму частного).

Доказывать эту теорему я не имею возможности. Но такова уж участь читателей литературы о науке — они должны иногда верить автору на слово. Правда, в наш недоверчивый век я стараюсь не злоупотреблять этой прерогативой, но сейчас прошу поверить: все сказанное верно, и энтропию, вычисляемую из вероятности состояния, можно (и не очень трудно) измерить на опыте.

Гиббсом были даны формулы, которые позволяли проводить вычисление любых физических свойств любых тел, если известна вероятность состояния.

На первый взгляд может показаться, что прогресс не очень-то велик и что молекулярно-кинетическая теория осталась «вещью в себе». Ну получили формулу для расчета свойств тела! Но ведь для того, чтобы произвести этот расчет, надо знать вероятность состояния, то есть число микросостояний! А откуда ее взять? Гиббс показал, что вместо числа микросостояний достаточно знать их распределение по энергии.

Долгое время казалось, что от этого легче не стало. И лишь относительно недавно мощь статистической физики проявилась. Лет пятьдесят назад физики научились измерять распределение микросостояний по энер-

гии с помощью спектрального анализа. И тогда создалась возможность использовать статистическую физику так, как до́лжно, то есть для предсказаний.

Вот пример схемы действий, которая приводит в восхищение физика и, кстати говоря, формирует его мировоззрение и психологию.

Вы, осветив какой-либо газ, ну, скажем, для определенности углекислый газ, подвергаете его спектральному исследованию и получаете красивую спектрограмму, состоящую из множества четких спектральных линий. Спектрограмма расшифровывается с помощью ЭВМ, и вы получаете список энергии микросостояний молекул в виде ряда чисел. Полученные числа подставляются

в формулы статистической физики. Если лень считать самому, можете и эту задачу поручить ЭВМ. В результате расчета вы получите, например, зависимость теплоемкости углекислого газа от температуры. Теперь отправимся в другую лабораторию — калориметрическую. Здесь можно измерить, сколько тепла надо затратить, чтобы один грамм газа нагреть от 20 градусов до 21, от 21 градуса до 22 и т. д. Это и значит, что вы измеряете кривую теплоемкости. Вы отмечаете крестиками полученные на опыте данные на миллиметровой бумаге. Здесь же, в том же масштабе, изображена кривая теплоемкости, которую вы вычислили теоретически. И видите, что крестики строго ложатся на теоретическую кривую.

Вдумайтесь еще раз в смысл происшедшего. Что общего, казалось бы, между поглощением света углекислым газом и теплом, затрачиваемым на нагрев этого газа? Да ничего, решительно ничего.

И вот между этими двумя явлениями перекидывается мост — прозрачно ясная идея беспорядочно движущихся молекул, далее, поведение молекул уподобляется поведению шарика рулетки, вступает в строй математический аппарат теории вероятностей, и два события оказываются связанными железной цепью. Характер одного из них определяет особенности второго.

Вот это и есть настоящая физика, в этом главное, что принесла с собой наука. Она сделала мир единым, а не хаосом разрозненных, не имеющих между собой ничего общего явлений.

ВЗРЫВ СТРАСТЕЙ В ГОРОДЕ ЛЮБЕКЕ

Как это ни кажется сейчас странным, защищать атомы и молекулы в конце XIX века было не простой задачей.

Под влиянием натурфилософов типа Эрнеста Маха из науки тщательно изгонялись всякого рода предположения, которые не могли быть проверены опытом. Прямых доказательств существования атомов в то время не было, поэтому атомные воззрения подравнивались к метафизике и рассматривались большинством естествоиспытателей-европейцев как разновидность веры в загробную жизнь и общение с духами. Напротив, большим ува-

женнем пользовались взгляды так называемых эиергетнков, которые предлагали в основу физнкн положить понятне эиергии н нзгнать из иауки всякого рода соображеиия о строеннн вещества.

Вполне понятно, что работы Людвига Больцмаиа, стронвшего статнстическую фнзнку с помощью простых н ясиых представленнй о мире частиц, взаимодействующнх по закоиам механики, встречалнсь этой группой ученых в штыки. Больцмаи ие только обороиялся, но н переходнл зачастую в атаку, нападая на энергетнков иа их террнторин.

На страинцах печатн шлн ожесточениые споры. Протнвнннкн нногда встречалнсь н публнчно.

Одну нз такнх днскуссий по поводу энергетикн, происходнвшую в австрнйском городе Любеке в 1895 году, известный фнзнк Арнольд Зоммерфельд вспоминал такнмн словами: «Реферат об энергетнке был прочнтаи доктором Хельмом. Его поддержнвал Внльгельм Оствальд. За ннмн обонмн стояла натурфилософия Эриеста Маха, отсутствовавшего на этом заседаннн. Борьба между Оствальдом и Больцмаиом походнла как виешие, так н внутренне на сражеиие тореро с быком. Но, несмотря на все нскусство владення шпагой, тореро иа этот раз был побежден быком. Аргументы Больцмана были неотразнмымн. Мы, молодые теоретнкн, былн все завоеваиы Больцмаиом».

Стенограммы заседаиня не сохраннлось, и, я думаю, нсторнки наукн не рассердятся на меня, если я, пользуясь опублнкованиымн статьями спорящнх сторон, по своему усмотреиию распоряжусь иекоторыми деталями обстановкн н поведением действующих лнц.

Итак, город Любек. Раииий вечер. Ожнвлеиио разговарнвая, к широкнм дверям большой аудннторни направляются профессора, доценты, студенты. Днскуссня интересует всех. Аудитория заполняется не только физикамн, но н химнкамн, математиками, бнологами... Обсуждаются проблемы, ннтересные для любого естествоиспытателя.

Реферат Хельма — все это превосходно поиимают — лишь скучиая затравка. Самое интересное начнется позже. В первых рядах Больцман н Оствальд — оба велнколепные, остроумные полемнсты. Их борьба, без сомиеиия, будет захватывающей.

Хельм заканчивает свой реферат:

— Итак, дамы и господа, я думаю, сумел наглядно показать вам, что энергетика, примененная к любой области знания, никогда не будет разрушена дальнейшим развитием науки. Энергетика стабильна ничуть не меньше, чем геометрия.

Все, что может случиться с законами, касающимися энергии, это то, что эти законы могут быть расширены и уточнены. Здание, образованное этими законами, может быть украшено, но оно никогда не будет разрушено и реконструировано. Что же касается механических гипотез, то их судьба иная. Они без конца разрушаются и реконструируются. Достаточно вспомнить бесчисленные гипотезы и теории, которые были созданы для объяснения явления света.

Реально и содержательно лишь одно понятие — понятие энергии. Разрешите мне закончить мое выступление словами глубокоуважаемого профессора Вильгельма Оствальда. «Если бы поэт пожаловался, что он не находит больших идей, которые охватывают мир в едином объятии, то я посоветовал бы ему обратиться к понятию энергии, наиболее грандиозному из всех, которые волновали умы нашего века. Если бы поэт сумел воспеть энергию должным образом, то он создал бы эпическую поэму, которую можно было бы рассматривать как поэму человечества».

Последовали вежливые аплодисменты, и председательствующий предложил желающим поделиться со слушателями своими взглядами. Больцман сразу ринулся в атаку:

— Я с огромным интересом прослушал доклад многоуважаемого господина доктора. Я не могу не согласиться с ним, что законы, устанавливающие связь между непосредственно измеряемыми величинами, незыблемы и будущее развитие науки может лишь расширить их, но не изменить. Так же как господин Хельм, я ставлю весьма высоко все теоремы, касающиеся энергии, и уверен, что понятие энергии принесет науке большую пользу. Правда, я не стал бы восхвалять энергию в стихах, прибереггая мой мизерный поэтический талант для лирических излияний. Но тем не менее я желаю господам Оствальду и Хельму найти нового Гёте, который бы вдохновился этой темой.

Короче говоря, позитивная программа господина

Хельма не вызывает у меня возражений. Но мне трудно согласиться с докладчиком там, где он призывает нас отказаться от тех методов, без которых, по-моему, наука не может жить и развиваться. Я имею в виду атомную теорию, которая делает столь наглядными картины химических явлений, кристаллизации, тепловых явлений.

Оствальд. Атомы — наивная выдумка древнегреческих мудрецов. Почему мы выражаем уверенность, что все атомные и молекулярные гипотезы должны быть изгнаны? Почему мы убеждены, что через пятьдесят лет сведения об атомах и молекулах можно будет найти лишь в пыли библиотек? По простой причине — эти гипотезы не содержат ничего дополнительного по отношению к факту, который они призваны объяснить. Тело горячее — значит, атомы движутся быстрее. А почему атомы движутся быстрее? Вместо того чтобы облегчить задачу объяснения природы, я ее только осложняю, увеличивая число положений, которые надо истолковать.

Больцман. Если бы дело обстояло так, как вы говорите, то вы были бы правы. Но ведь атомная гипотеза охватывает самый различный круг явлений. Как можно не чувствовать, что, используя представление об атомах и молекулах, мы подводим общее основание под все естествознание? Факты, которые казались разрозненными, начинают складываться в единое целое.

Оствальд. Такое единство превосходно достигается составлением феноменологических уравнений.

Голос из публики. Господа, среди слушателей есть малограмотные люди. Пожалуйста, объясните, что значит феноменологическое уравнение.

Оствальд (снисходительно, с улыбкой). Пожалуйста. Это уравнение, которое связывает лишь непосредственно измеряемые величины. Например, уравнение Ньютона: сила равна произведению массы на ускорение. Все три величины могут быть непосредственно измерены. «Я гипотез не измышляю!» — сказал великий Ньютон. Энергетика следует этому завету: никаких гипотез, никаких наглядных картин!

Больцман. Чистейшая фикция. Когда мы размышляем о явлениях, мы всегда пользуемся теми или иными картинами. Мысленно нельзя себе представить толь-

ко господа бога. Вы говорите, что надо ограничиться дифференциальными уравнениями, записанными для непосредственно измеряемых величин. Но возьмите такие уравнения, как уравнения теплопроводности, или вязкости, или теории упругости. В этих уравнениях обязательно фигурируют величины, отнесенные к малым областям. Тело мысленно разбивается на материальные точки. Все равно вам не удается избавиться от моделей явления.

Оствальд. Это не модели. Это просто вспомогательные представления, право на которые мы получаем по той причине, что записанные уравнения оправдываются на опыте. Что же касается атомных гипотез, то вы, господин Больцман, не указали нам пока что способ увидеть атомы.

Больцман. Не сомневаюсь, что это случится достаточно скоро!

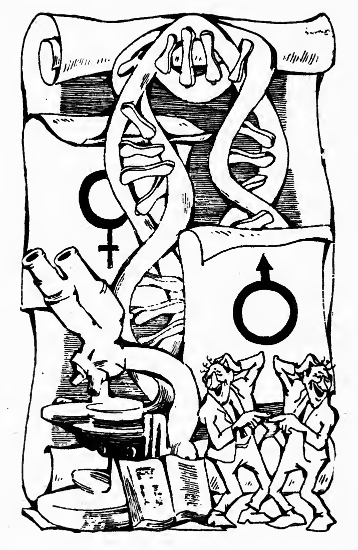
Оствальд. Ну что же, мы согласны подождать. Но пока что на месте господина Больцмана я не прибегал бы на лекциях ко всяким игрушкам, изображающим атомы и молекулы. Насколько мне известно, когда господин профессор читает лекции по теории упругости, то он пользуется атомами, сделанными из папье-маше, к этим «атомам» прикреплены дюжины крючков, которыми атомы сцеплены. Учебная аудитория все-таки не детская комната.

Смех части аудитории.

Больцман. Да, я за наглядность. Большую часть своего жизненного опыта человек набирает глазами. Стремление наглядно представить себе физические явления законно, и там, где можно, надо прибегать к зримым моделям. Работа с такими моделями наталкивает на новые идеи, приводит нас к необходимости поставить те или иные новые эксперименты, позволяет прочувствовать совершенство или недостатки той или иной гипотезы. Господин Оствальд ошибается, если думает, что я ставлю знак равенства между моделями, изготовленными из бумаги и дерева, и атомным миром. Сторонники атомной гипотезы прекрасно понимают условность модели. Всякая модель призвана показать лишь какую-то группу явлений. Разумеется, атомы не то же самое, что деревянные шарики, но в каких-то отношениях атомы ведут себя как шарики. Разъяснение поведения

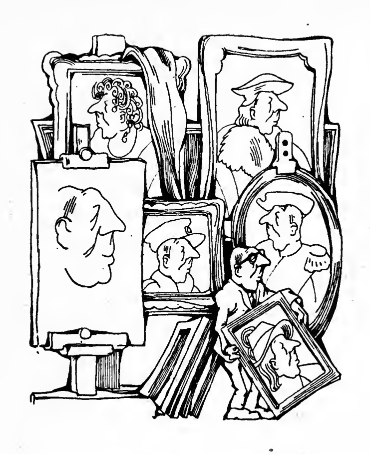
атомов при помощи моделей — это совсем не детская забава!

Переругиваться таким образом в течение 10—15 лет — это совсем не весело. Слышать насмешки над собой и обвинения в ретроградстве, когда знаешь, что ты открываешь новые пути в науке, — это совсем не легко. Чтобы спокойно работать при всем при этом, надо иметь хорошую нервную систему. А у Людвига Больцмана она была скверная.



Часть пятая

ЧАСТИЦЫ, КОТОРЫЕ ПРАВЯТ МИРОМ



ЯБЛОКО ПАДАЕТ БЛИЗКО ОТ ЯБЛОНИ

Бытует такой анекдот. Некая кинозвезда, восхитившись талантом Бернарда Шоу, пишет ему письмо: «Предлагаю Вам свою руку и сердце. Представьте себе наших детей, унаследовавших мою красоту и Ваш ум». Ответ был краток. «Мадам, я вынужден отвергнуть Ваше предложение. Ведь может быть и так, что дети будут такими же красивыми, как я, и такими же умными, как Вы».

Жалко, что никак не угадать, на мать будет похож ребенок, на отца или на более дальних родственников. Если бы можно было это знать наперед, возможно, иной

раз стоило бы воздержаться от производства потомка иа свет божий.

Комбииация иаследствеииых призиаков родителей, проявляющихся в потомстве, — типичио случайиое явлеиие. Поэтому удается провести прямую аиалогию между наследоваиием ребеиком красоты и разума своих родителей и игрой в карты или кости.

Задолго до проникиовеиия в тайны строения биологического вещества учеиые и практики, исследовавшие передачу иаследствеиных призиаков у быстро размножающихся животных и растеиий, явио или неявно пользовались представлеием о материальиом иосителе иаследствеииости — геие.

Еще совсем иедавио никто толком ие смог бы объясиить, что такое геи. Но если допустить его существоваиие и добавить еще одну-две гипотезы, то картииа передачи иаследствеиных призиаков стаиет ясиой и, что самое главиое, такая модель явления позволит делать предсказаиия. А поскольку вся картииа носит случайиый характер, то предсказания будут, разумеется, носить статистический характер.

Итак, примем, что в любом оргаиизме содержится миожество разиых геиов. Каждый из них отвечает за тот или иной признак. Например, одии определяет голубизну глаз — геи голубоглазия, другой геи — длинного носа, третий — ген вздориого характера и т. д.... Каждый из иих имеет своего париого аитагоииста. Для геиа голубоглазия есть геи кареглазия, для гена длииного иоса — ген короткого иоса, для геиа вздорного характера — геи покладистого характера.

Чтобы объясиить ряд фактов, необходимо предположить, что геиы выступают в организме только парами. Возможны особи, имеющие для некоего признака пару тождествеиных геиов — скажем, у одной два гена, заведующих голубоглазием, у другой особи — два гена кареглазия, а есть особи, у которых ген присутствует со своим парным аитагонистом: одии геи голубоглазия, другой — кареглазия.

Если у особи оба геиа «голубые», то ее глаза будут, коиечно, тоже голубые; если оба геиа у иее «карие», то и глаза ее карие. А как обстоит дело, если один ген «карий», а другой «голубой»?

На этот вопрос отвечает следующий закои. Из двух антагонистических генов один подавляет другого. Тот,

который берет верх, называется доминантным, а уступающий — рецессивным. А какой из пары генов является доминантным и какой рецессивным и каков «состав» генов у животного или растения, покажет только опыт, практика.

Как же, собственно говоря, происходит передача наследственных признаков?

Дочерний организм отбирает каждую пару своих генов из двух пар — материнской и отцовской. Если речь идет о гене, который может выступать в форме Г или форме К, то возможны следующие варианты передачи наследственности:

ОТЕЦ	*МАТЬ*	*ДЕТИ*
ГГ	ГГ	ГГ
ГГ	ГК	$\frac{1}{2}$ ГГ + $\frac{1}{2}$ ГК
ГГ	КК	ГК
ГК	ГГ	$\frac{1}{2}$ ГГ + $\frac{1}{2}$ ГК
ГК	ГК	$\frac{1}{4}$ ГГ + $\frac{1}{2}$ ГК + $\frac{1}{4}$ КК
ГК	КК	$\frac{1}{2}$ ГК + $\frac{1}{2}$ КК
КК	ГГ	ГК
КК	ГК	$\frac{1}{2}$ ГК + $\frac{1}{2}$ КК
КК	КК	КК

Проанализируем последнюю графу, показывающую, какие пары генов получают дети от своих родителей.

Первая строка — у всех детей один состав генов, так как родители имеют те же гены. Из второй строки видно, что половина наследников имеет генную формулу ГГ, а другая половина — формулу ГК. Наибольшее разнообразие признаков возникает у потомков в том случае, если и отец и мать их являются обладателями антагонистической пары генов (пятая строка). Тогда одна четверть потомства имеет пару одинаковых генов Г, другая четверть — пару одинаковых генов К, а половина потомства повторяет своих родителей, то есть обладает парой антагонистических генов (ГК). Вы, конечно, уже поняли, как получены формулы состава генов у детей. Ну конечно, надо «перемножить» символы; скажем, ГК × ГК = ГГ + ГК + ГК + КК, откуда ясно, что ГГ и КК выступают с «весом» в $1/4$, а ГК с «весом» в $1/2$.

Чтобы ответить на вопрос, в какой форме выступает признак, надо указать, какая из форм гена является доминантной. Если речь идет о цвете глаз, то доминантной является форма К (кареглазие). То есть карие глаза

будут у всех потомков, кроме тех, которые получают пару генов ГГ. К такому утверждеиию люди пришли после миогочисленных иаблюдеиий и исследоваиий передачи по иаследству призиаков цвета.

Обратите внимаиие, что иевозможио сделать заключеиие о составе геиов по цвету глаз одиозиачио. Если глаза голубые, то состав геиов иаверияка ГГ, ибо Г — рецессивиый призиак (это выведеио из опыта). Но если глаза карие, то состав геиов может быть как КК, так и ГК.

Если отец голубоглаз, то его геииая формула ГГ. Если мать обладает парой КК, то глаза детей будут неизбежио карими. Если же у иее пара геиов ГК (вторая строчка таблицы), то половииа шаисов за то, что цвет глаз у детей будет таким же, как у отца. Еще одии вывод: супруг ие должеи терзаться сомнеииями, если у него родилось голубоглазое дитя, иесмотря иа бесспорио карие глаза обоих родителей. Вы видите, что подобиое событие может произойти с вероятиостью одиа четвертая. Так будет, если соответствующие геиы подобраиы в форме ГК (пятая строка) как у отца, так и у матери.

Табличка, которую мы только что привели, позволяет судить о вероятиости события, ио отиюдь ие является документом для жесткого предсказаиия. Из иее, скажем, следует, что кареглазый отец с формулой геиа ГК и голубоглазая мать могут иметь как голубоглазого, так и кареглазого ребеика, и притом с равиыми шансами. Может ли быть в этом семействе пять голубоглазых детей? Коиечио, может быть, и вероятиость этого события такая же, как появление в рулетке пять раз одинакового цвета, то есть одиа вторая в пятой степеии (или одиа тридцать вторая).

Можно представить себе передачу по иаследству цвета глаз и волос, формы иоса и ушиых раковии и т. д. следующим образом. Отец и мать протягивают будущему существу чериый ящик. И в отцовском и в материиском ларце по два шара для геиа каждого сорта. Будущий ребеиок выбирает по одиому шару из каждого ящика — одии от отца, а другой от матери. Разумеется, вполие может случиться и так, что иесколько детей сделают в этой иесложиой игре одииаковый выбор одиого или иескольких геиов.

Как всегда, зиаиие вероятности события мало полез-

но, когда идет речь о единичном событии. Да и в случае 5—6 событий можно, руководствуясь вероятностями, сильно ошибиться, делая предсказания. Но когда речь идет о многократно повторенном опыте, то, как мы знаем, вероятностные предсказания становятся достоверными.

Родоначальник современной генетики Грегор Мендель провел громадное число опытов по скрещиванию между собой растений с разными признаками. Именно эти опыты и привели к формулировке только что описанной модели передачи наследственных признаков.

Так как количество «детей» в этих опытах измерялось сотнями и тысячами, то законы вероятности проявились достаточно отчетливо.

Вот, скажем, такой опыт. Горох с гладкими горошинками (Г), скрещенный с горохом с морщинистыми горошинками (М), дает совершенно однородное поколение: все «дети» оказываются гладкими горошинками. Значит, гладкость, согласно нашей модели, есть доминантный признак (запомним это).

А связывая особенности полученного потомства от двух сортов гороха с нашей таблицей, мы видим, что они соответствуют третьей строке таблицы. То есть «родители» должны обладать парами генов ГГ и ММ, а «дети» при этом имеют пары генов ГМ.

Чтобы проверить справедливость такой модели, скрестим между собой «детей». Вероятностная формула следующего (второго) поколения будет $\frac{1}{4}$ГГ + $\frac{1}{2}$ГМ + + $\frac{1}{4}$ММ. Поскольку Г доминантный признак, то вероятность появления гладких горошинок равна $\frac{3}{4}$, а морщинистых $\frac{1}{4}$. Следовательно, по мере увеличения числа опытов отношение числа «гладких» «внуков» и «внучек» к «морщинистым» должно стремиться к трем.

В одном из опытов Мендель нашел такие числа: 5474 и 1850, то есть отношение оказалось равным 2,95. Отклонение от теоретически вычисленной величины меньше 2 процентов. Таким образом, этот эксперимент, так же как и огромное множество других, которые были поставлены самим Менделем и другими генетиками, находятся в блестящем согласии с вычисленными вероятностями и подтверждают справедливость модели двух черных ящиков, заполненных парами шаров — по паре на каждый ген.

Огромный материал, накопленный генетиками, позволяет проводить количественную проверку вероятностных предсказаний. Располагая сведениями о результатах многих десятков экспериментов, в каждом из которых имеются, скажем, по тысяче наблюдений, можно, разумеется, построить кривую распределения признака. Она окажется близкой к «нормальной гауссовой кривой» с центром, совпадающим с теоретически вычисленной вероятностью. Любое отклонение ее от нормальной будет говорить об одном — в предположении о типе генов родителей нами допущена какая-то ошибка.

Из сказанного вытекает, что распределение признаков у потомства является основной информацией о типе генов у родителей. И те правила, о которых мы говорили, являются азбукой селекционеров. На их основе проводится практическая работа по выведению новых сортов растений и новых видов животных.

МЫ И НАШИ ПРЕДКИ

В том, что дети наследуют внешние черты родителей, никто не сомневается. Однако житейские наблюдения над тем, сколь похожи дети на своих пап, мам и теток, не дает нам основания считать, что природа генов дискретна. Наследственность передается часто в расплывчатой форме, и обычно нос ребенка «напоминает» по форме носы родителей, глаза «примерно» такого же цвета, как у папы или мамы, походка «напоминает» манеру двигаться дяди Коли и т. д. Лишь наблюдения над горошинами и мушками, опыт животноводов, данные селекционеров убеждают в том, что имеются частички наследственности. Что же касается расплывчатого сходства, то, оказывается, оно возникает по той причине, что нос, глаза и другие черты определяются не одной, а многими парами генов. При таком условии будущий ребенок тащит из папиного ящика, скажем, пять-шесть доминантных генов, отвечающих за форму носа, и для окончательного формирования этого важного органа добавляет сюда еще три-четыре доминантных гена из материнского ящика. Именно поэтому довольно редко встречаются дети, вылечатанные в родителей. Как редко? Это вопрос теории вероятностей. Скажем, если наследник вытащил из ящика отца пару десятков доминантных генов,

определяющих черты лица (вероятность одна вторая в двадцатой степени, то есть такая, с которой можно считаться), то можно быть уверенным в сходстве, которое обычно характеризуют как потрясающее.

Достаточно часто семейное сходство удерживается много поколений. Губа Габсбургов, например, была долгое время неотъемлемым прнзнаком членов этой королевской династни. Однако от поколения к поколенню сходство постепенно падает.

Еслн организм определяется малым числом генов то он будет представлен незначительным числом различающихся друг от друга особей. Впрочем, «незначительное» не очень подходящее здесь слово. Еслн бы ге-

нов было всего лишь двадцать, то и в этом случае число нетождественных индивидов равнялось бы миллиону.

А сколько их в организме человека? Ответить на этот вопрос можно так: если не говорить об однояйцовых близнецах, то можно смело сказать, что одинаковых людей не бывает. Значит, если гены существуют и представляют собой что-то вроде частичек, то их должно быть очень много (так уж довольно давно думали биологи). Сколько? Добравшись до атомной структуры гена, физики показали, что их число порядка 10 000. Таким образом, число возможных сочетаний генов столь велико, что вероятность встретить своего двойника крайне мала.

Наличие в организме человека генов, отвечающих за его физиологические признаки — черты лица, конституцию, склонность к тем или иным заболеваниям и прочее, — является неоспоримым фактом.

Возникает естественный вопрос: а духовный облик человека — это тоже его генетический признак вроде рыжих волос? Имеется много людей, которые отвечают на этот вопрос утвердительно и потому удивляются, когда оказывается, что у добродетельных родителей может быть сын хулиган. Более того, существуют и такие люди, которые считают возможным стать на путь обобщений и изрекать глубокомысленные сентенции вроде того, что человек от природы добр, или зол, или глуп и коварен.

Это, конечно, неверно. Ближе к истине старинное изречение, что ребенок при рождении — это чистая доска «tabula rasa». Конечно, то, что будет записано на доске, определяется средой, в которой рос и воспитывался ребенок. Однако современная генетика заставляет нас помнить, что целый ряд конкретных поведенческих реакций животных наследственно закреплены. Так что в генетических особенностях эмоционально-поведенческого склада сомневаться не приходится. Поэтому мы не станем уверять читателя, что биологическая природа человека никак не связана с его духовным обликом. Разумеется, связана каким-то сложным способом, исследование которого явится увлекательной задачей науки в ближайшие десятилетия.

Эта связь — так подсказывает нам человеческий опыт — в основном сводится к тому, что биологически

разные (то есть разно построенные из биологических молекул) организмы могут быть по-разному предрасположены к приобретению тех или иных свойств разума и души. Одного человека легче воспитать добрым, другого труднее, одного легко научить математике, а другого труднее, зато он легко познает приемы живописи.

Пока что молекулярная биология не может нам сообщить, что означают эти «легко» и «трудно» на языке атомов и молекул. Когда же модель, демонстрирующая роль биологической структуры в воспитании человека, будет создана, она, вероятно, будет кой в чем напоминать огромный шкаф с бесчисленным количеством подразделений, полок и ящичков, стенки которых сделаны из резины.

На эти полки будут складываться приобретаемые в результате воспитания многочисленные моральные, эстетические и рационалистские ценности. Для каждой из них свое место в шкафу.

Существует, скажем, полка логических способностей. У одного она от природы широка, у другого узкая. Но стенки резиновые, и с помощью воспитания количество багажа, втиснутое с трудом на узкую полку, может оказаться значительным. Напротив, при отсутствии воспитания широкая полка остается незаполненной. В результате менее «одаренный» человек достигнет больших вершин, чем тот, который не сумел, не захотел или не осознал возможности воспользоваться тем, что ему было подарено природой.

Пустой шкаф, символизирующий мозг новорожденного, является таким же предметом статистики, как рост ребенка или вес. Каждый из ящиков, предназначенных для того или иного свойства, имеет средние размеры и средние упругие свойства стенок. Отклонения от средних значений подчиняются гауссовым кривым, которые и являются биологической характеристикой общества.

Эти кривые важны — от них зависит легкость воспитания и образования тех или иных свойств разума и души человечества. В то же время ясно, что они не определяют ни морали, ни культуры общества: *шкаф пуст, пока человек не воспитан обществом.*

Моральные устои, религиозные убеждения, политические мнения являются результатом воспитания. Стенки ящичков, предназначенных для хранения моральных

ценностей, достаточно гибкие, и люди, принадлежащие одному классу общества, естественным образом окажутся объединенными общей идеологией безотносительно различий в структуре своих генов.

Различия в духовном облике, в уровне и характере культуры, в моральных совершенствах народа могут быть колоссальными при одной и той же биологической (генетической) характеристике. Об этом свидетельствует история.

Представьте себе необитаемый остров, на который кораблекрушение выкинуло Адама и Еву — родоначальников нового человеческого племени. Наследники этих прародителей в любом поколении будут обладать комбинациями генов, которыми владели Адам и Ева.

Предположим, что Адам и Ева народили много детей. Если так, то оба гена, составляющие каждую пару, пойдут в дело в равной степени. Значит, пропорция генов голубоглазия и кареглазия, генов рыжих и черных волос, больших и маленьких ящичков, предназначенных для обучения добру и злу, математике и живописи, остается неизменной в каждом поколении.

Это действительно верно для каждого замкнутого общества, но с одной существенной поправкой. Хотя гены — частички очень прочные, все же в среднем один ген из десяти тысяч за одно поколение, оказывается, портится. Причины порчи могут быть самыми разными, и прежде всего играют здесь роль всякие радиации. Таким образом, медленно, но верно и в замкнутом обществе происходят изменения.

С точки зрения геолога, меряющего историю планеты сотнями миллионов лет, генетические изменения происходят быстро. Но историку, ограничивающему свои интересы двумя-тремя тысячами лет, то есть временем какой-нибудь сотни поколений, порча генов кажется явлением совершенно незаметным. Отсюда следует достаточно жестко, что по составу генов люди XX века вряд ли отличны от древних греков или римлян: тот же процент талантливых людей, тот же процент людей, из которых легко воспитать солдат или полководцев, равные доли голубых и черных глаз. Коренные изменения происшедшие с человечеством, не связаны с изменениями рисунка его генов.

Современный человек отличается от того, который

жнл до так называемого рождества Хрнстова, тем, что ои ииаче образоваи, живет в другой среде.

Геиетнческая природа человека ие измеиилась, значит, те колоссальиые различия, которые мы наблюдаем в людях разиых веков, в члеиах обществ с различным социальиым строем, — эти различия являются фуикцией образоваиия, которое, в свою очередь, определяется классовыми интересами общества.

По биологической своей сути мы те же, что иаши далекие предки. Тем не менее мы совсем другие. Иначе воспитаны.

* * *

По логике повествоваиия следовало бы теперь обратнться к структуре гена и поясиить, как на языке атомов н молекул выражаются закоиомериости и случайиости передачи геиетических призиаков. Мы сделаем это, ио позже.

А сейчас расскажем о роли случайности иа путях иаучного открытия. Заметим сразу же, что тема эта иеобъятна, поэтому мие хочется при ее освещеиии проиллюстрировать ее примерами из своей узкой профессии. А занимаюсь я всю свою жизнь прнменеиием реитгеиовских лучей для исследоваиия органнческих веществ.

Так как это нмеет некоторое отиошеине к открытню структуры геиа, то, рассказывая о путях открытия структуры геиа, мы узнаем и саму структуру геиа.

ГВОЗДЬ ВЫПАЛ...

В одиой аиглийской песеике, переведеииой С. Маршаком, рассказывается, как гвоздь выпал — подкова отвалнлась, подкова отвалилась — лошадь захромала, лошадь захромала — комаидир убит, командир убит — коиннца разбита, конница разбита — армия бежит... И так далее, и тому подобиое. Короче, получается, что плохо заколоченный гвоздь изменил ход исторни.

Формально вроде все здесь правильио. И есть миого умных, казалось бы, людей, которые вполие серьезио полагают, что имеиио такие случайиые происшествия вроде выпавшего гвоздя или иасморка Наполеона перед сражением при Ватерлоо определяют ход нстории.

Спору нет. Ничтожная случайность влияет на конкретное содержание жизни людей. Каждый из нас, перебрав мысленно свое прошлое, найдет не один пример, когда важный выбор в жизни — вуза, места работы, маршрута туристского путешествия со всеми вытекающими из этих выборов последствиями — определялся какими-то пустяками: брюки порвались, с приятелем поговорил, поскользнулся на апельсиновой корке. И каждая такая чепуха, в свою очередь, определялась какой-то другой мелочью, и так без конца.

Проанализировав все эти обстоятельства, нетрудно прийти к заключениям вроде: «Чему быть, тому не миновать»; «Не знаешь, где найдешь, где потеряешь»... Из этих мудростей, в свою очередь, вытекает жизненная философия ничегонеделания, тщетности каких бы то ни было усилий. Жить тогда становится скучно и неинтересно, даже трагично, как героям произведений Ф. М. Достоевского.

Какую же ошибку в рассуждении совершают те из нас, кто думает, что случайные изгибы жизненной линии делают бессмысленным управление своей судьбой? Вот какую.

В той или иной степени наш разум и воля принимали участие в самых что ни на есть случайных событиях. Вы были недостаточно собранны, когда поскользнулись на улице, недостаточно осмотрительны, когда переходили площадь, плохо отдавали себе отчет в своих возможностях, когда попытались спуститься на лыжах с крутой горы. Спору нет, происшедшее несчастье — событие случайное, то есть в одинаковых (вроде бы) условиях один поступает так, что для него все оканчивается благополучно, а другой платится за свои действия.

Существует, например, некоторая вероятность печального события сломать ногу, спускаясь на лыжах с «Приюта одиннадцати» на Эльбрусе. Эта вероятность есть сложная функция от способностей лыжника, от погоды, снежного покрова, лыж и многого другого. Так или иначе многолетняя статистика знает, из какого числа лыжников ломает ногу один. Кто же будет этот один? Самый несчастливый? Да не совсем так! Надо думать, что ничего подобного не произойдет с теми горнолыжниками, которые знают свои силы и умеют быть собранными в моменты опасности. И печальный жребий выпа-

дет тому, кто плохо владеет лыжами, неосмотрителен, у кого малый объем внимания. Кому-то из них, конечно, повезет — их минует опасность, а кто-то расплатится за свои недостатки, и... статистика сработает.

Итак, вряд ли стоит пенять на случай в событиях, которые, пусть частично, вполне случайны. В нашей воле было попасть в ту группу людей, для которой вероятность беды измеряется хоть и малыми, но все же значимыми дробями.

Еще менее разумно становиться фаталистом из-за того, что, например, вы попали в один поезд метро со своей будущей супругой. То, что случайное знакомство привело к браку, ведь не означает, что вашим поводырем был случай. У вас обоих было время и присмотреться друг к другу, полюбить, и подумать о браке. Что же касается случая, который мог бы вас и не свести в метро, то при всем моем уважении к вашему счастливому браку я не могу думать, что эта встреча была столь уж важной для вашей жизни.

— Да, а если бы я ее не встретил? — спросите вы.

— Ну что ж, встретили бы другую. Теория половинки разломанного яблока (только две подходящие во всем мире) наверняка несправедлива. Со стороны ваш счастливый или несчастный брак выглядит следующим образом. Для людей вашего склада, возраста, социального положения и так далее имеется некоторая характеристика — гауссова кривая «степени счастливого» брака. Эта кривая наверняка имеет довольно острый средний пик. Скорее всего ваш брак типичен для людей вашей группы. И в то же время есть вероятность, что вы будете счастливее «среднего супруга», и есть вероятность, что вы будете менее счастливы, чем он. Зависит ли от вашей воли и разума, в какую часть гауссовой кривой попадет ваша судьба? Без сомнения.

Роль случая в жизни каждого из нас в общем не так-то велика. Случай придает жизни конкретные черты. Но общая схема, «генеральный» вид остаются теми же, несмотря на извивы судьбы.

У О. Генри есть такой рассказ (нетипичный для этого писателя). Герой подъехал к перекрестку, от которого идут три дороги. Рассказаны три судьбы, три путешествия по разным дорогам. Герой живет разными

жизнями, но оказывается, что это одна жизнь — с теми же моральными взлетами и падениями, с теми же счастьем и горем, с той же концовкой; так сказать, одна мелодия в разных оркестровках. Проиллюстрировать это положение мне хотелось бы примером, наиболее близким мне: я хотел бы рассказать, как я стал физиком, изучающим строение вещества.

Совсем мальчишкой я уехал строить медеплавильный комбинат на Урале, который превратился в конце концов в город Красноуральск. То, что я уехал из Москвы из-под крылышка родителей, конечно, не случайно: такова была обстановка в 1929—1930 годах, таково было воспитание, подходящим был мой характер. А то, что я уехал именно в Красноуральск, было делом случая: туда уезжала девушка, в которую я был влюблен.

Труд рабочего был тяжелым и непривычным мне. Поэтому, когда стройка закончилась, я вернулся в Москву: разумеется, в этом не было случайности.

В Москве я поступил работать лаборантом в институт цветных металлов: понятно, почему именно в этот институт — ведь до этого я работал на стройке медеплавильного завода.

Спустя некоторое время захотелось учиться. Куда же пойти? В технические вузы в то время было трудно попасть, а в университет легко. Но на какое отделение? Я выбрал металлофизику. Лишь заканчивая университет, я почувствовал, что меня влечет теоретическая работа и притом такая область знания, где побольше «белых пятен». В университете меня обучали методам исследования структуры металлов, и я подумал о том, а нельзя ли этими же методами изучать структуру веществ, о которых тогда не было ровно никаких сведений, — структуру органических веществ.

Однако об этих возможностях думал не только я, но и некоторые прозорливые химики. Я искал работу, а они подыскивали работника. Столкновение произошло быстро и естественно. Так я встал на рельсы, по которым движусь всю свою научную жизнь.

Был ли во всем этом элемент случайности? Без сомнения. Но ясно одно, если бы моя карьера началась на автомобильном заводе или на строительстве плотины, то все равно мои индивидуальные качества, помноженные на полученное воспитание, привели бы меня к теорети-

ческой работе в области физики, механики или химии. Я мог бы стать специалистом в области гидродииамики или эиергетнкн. Внешне судьба казалась бы ниой, а по сутн дела той же самой.

Итак, автор отрицает роль случая в жизии каждого из иас? Нет, ие совсем. Случайиостн в судьбе каждого из нас нмеют, безусловно, место. Но разум и воля виосят существеиную корректнву в роль случайностей, которые встречаются на жизиенном пути. Еслн без них жизнь изобразнть в виде прямой линии, то со случайностямн она будет нметь нзгибы, волиы, а то н петли. Но общее направлеине линнн остается иензменным —

оно предопределено нашим «я» и средой, где мы живем.

Если со всеми этими оговорками мы соглашаемся признать роль случая в индивидуальных судьбах, то уж никак нельзя согласиться с тем, что случайности оказывают существенное влияние на ход истории.

Историю делают люди. Поскольку реакции их на любую обстановку являются закономерными в том смысле, который мы уже неоднократно обсуждали (ложатся на гауссову нормальную кривую), и так как количество человеческих судеб, решающих историю, очень велико, то статистика больших чисел приводит к однозначному результату.

Ход истории в классовом обществе определяется взаимоотношениями классов, интересами классов. Чтобы эти фразы не казались лишенными содержания (какие там классы, когда миллионы людей имеют каждый свою судьбу, желание и возможности), вспомните статистическую природу стимулов к поступкам. Вполне правомерно говорить об интересе, о стремлении и реакции класса или группы людей именно потому, что все характеристики и оценки поведения их ложатся на гауссовы кривые с достаточно острым максимумом.

В зависимости от обстоятельств, в которые попадают коллективы, положение вершины гауссова колокола будет сдвигаться, то есть, проще говоря, настроение массы людей меняется, как бы следуя одному дыханию. Знать и понимать статистические закономерности, приводящие к поразительному единению мыслей и эмоций класса людей, — важнейшее свойство политического деятеля.

Вспомните слова В. И. Ленина о том, что необходимость и возможность вооруженного восстания созревают к определенному дню: вчера было рано, завтра будет поздно. В основе этого политического лозунга лежит точный расчет момента, к которому наступит классовое единство и которое, в свою очередь, есть строгое следствие закона превращения случайностей в необходимость.

Но не будем вторгаться в область исторического материализма, представленную сотнями и тысячами превосходных книг. Остановимся на частном примере, а именно на проблеме случайного и неизбежного в научных открытиях.

В науке тоже есть и «невезучие» и «счастливчики». Вот как были открыты рентгеновские лучи — «икс-лучи», как их называл сам Рентген.

ЛУЧИ ИКС

Профессор Вильгельм Конрад Рентген взглянул на часы, и у него испортилось настроение. Было уже восемь вечера, совсем стемнело, а он обещал жене быть дома в половине восьмого, чтобы встретить вместе с ней госпожу советницу Винтерлебен. Рентгену было скучно с гостями, которые время от времени собирались у них в доме, однако он считал, что гости — это крест, который хочешь не хочешь, а нести надо. А раз надо, то и рассуждать не о чем. Кроме того, Рентген любил свою семью, и меньше всего ему хотелось огорчать супругу. Но и увлекательную работу бросать не хотелось. В общем было из-за чего огорчиться. Профессор вздохнул, снял халат, повесил его на вешалку, набросил черное покрывало на газоразрядную трубку, повернул выключатель, расположенный около двери, и последний раз оглядел заставленную приборами лабораторную комнату. Взгляд привычно обежал столы, шкафы и стены. Рентген уже собирался переступить порог, но какой-то беспорядок, какая-то необычность обратила на себя внимание. Ну да, вот это светящееся пятно на столе около трубки, с которой он только что работал. Немедленно подошел он к предмету, привлекшему его взгляд. Светилась часть экрана, которым пользуются для обнаружения флуоресценции. Такой экран — это картон, покрытый с одной стороны платиносинеродистым барием. Вещество это светится, если на него падают ультрафиолетовые лучи или катодные лучи (что было обнаружено сравнительно недавно), которые, как показал его коллега профессор Ленард, представляют собой, видимо, пучок электронов. Правда, существование этих самых электронов вещь сомнительная и, во всяком случае, недоказанная. Не надо хорошему физику пользоваться словами, засоряющими строгий научный язык.

Все это быстро промелькнуло в голове Рентгена, пока другой участок мозга фиксировал странности обнаруженного явления.

Экран лежит картоном кверху, а светится. Трубка... Да, трубка работает: он забыл выключить катушку Румкорфа — питание газоразрядной трубки. Проверим. Он выключил катушку, экран медленно погас. Включил. Экран засветился опять. Как странно, неужто катодные лучи проходят через черное сукно, которым покрыта трубка, и через картон экрана? До сих пор он считал, что эти материалы поглощают катодные лучи. Надо еще раз это проверить. Катодные лучи отклоняются под действием магнитного поля, поля самого обыкновенного подковообразного магнита. Катодный пучок им можно отвести далеко в сторону, в сторону от экрана.

Пока мозг размышлял, руки уже действовали. Они помещали магнит вблизи экрана в разное положение, но результат был нулевой: экранчик безмятежно светился тем же синеватым светом. Значит, значит... Значит, это что-то новое, какие-то неизвестные лучи, исходящие из трубки. Рентген надел халат... Пусть фрау Винтерлебен считает, что профессор Рентген плохой семьянин, а его жена — несчастная женщина.

Признаюсь, детали описанной сцены я выдумал, но главное верно. Открытие произошло потому, что совпало несколько случайностей. Рентген забыл выключить трубку; рядом с трубкой лежал экранчик; на трубку было наброшено сукно. Но на все эти случайности наложилось одно отнюдь не случайное обстоятельство: Вильгельм Конрад Рентген был великолепным физиком-экспериментатором, внимательным и вдумчивым естествоиспытателем с зорким взглядом, чутким ухом и нервным настроем, держащим мозг в состоянии непрерывной боевой готовности. Неслучайным был и тот интерес к явлению газового разряда, который захватил многих физиков, действовавших в разных университетах мира в последнее десятилетие прошлого века.

Интерес этот был вызван практической важностью электрического освещения, но затем переместился в область разгадывания тайн природы. Катодные лучи были фактом интересным, но туманным. Чтобы понять их природу, надо было множить исследования их свойств. Поэтому в лабораториях изготовлялись разные трубки и велось изучение всевозможных действий этих лучей. Исследование флуоресценции вещества под действием катодных лучей, как представлялось вполне справедливо большинству физиков, должно было в существенной

степени помочь уяснению электронной теории строеиия вещества.

К электроиной гипотезе многие физики относились скептически. Но тем не менее ряд серьезных фактов говорил о том, что оиа не так уж глупа. Как бы то ии было, тщательиые исследоваиия воздействия катодных лучей на вещество были на повестке дня. Так что газоразрядные трубки и светящиеся экраиы стали более или меиее обычным атрибутом физических лабораторий. Из всего этого видио, что открытие новых лучей носилось в воздухе и дело было за талантливым и внимательным физиком-экспериментатором.

Конечио, открытие Рентгена в какой-то мере было случайиым. Но оио иазрело, и если бы в этот день, который мы описали, ои закончил бы свою работу засветло и фрау Виитерлебеи ие была бы разочароваиа в его супружеской виимательиости, то все равио открытие было бы сделаио либо тем же Реитгеиом позднее, либо другим физиком, ио иепремеино талаитливым.

Итак, право же, ие так уж много во всем этом деле приходится на долю случая. То, что Рентген приналлежал к числу физиков, достойных вниманиия «госпожи удачи», совершенно отчетливо видио из его научных трудов и рассказов его современников. За короткий период Рентген опубликовал три работы о свойствах новых лучей. Эти сочинеиия оказались настолько исчерпывающими, что в течеиие долгих лет, пожалуй, до 1912 года, к ним иечего было добавить. И это притом, что внимание к икс-лучам, как назвал «свои» лучи Реитген, было огромным. Достаточно сказать, что за одии-два года после сообщеиий Рентгена появилось около тысячи публикаций-исследований лучей Реитгена (огромное для того времеии число), и все они не внесли в проблему буквальио иичего иового.

Реитген установил законы поглощения лучей; выполиил образцовые сиимки, просвечивая свою руку, а также различиые предметы, прячущие внутрн себя металл. Фотографии Реитгеиа по качеству ничуть не уступают самым лучшим сегодняшним сиимкам. Нечего и говорнть, что оба пути использования лучей — в медицине для диагностики и в промышленности для обнаружения скрытых дефектов — были очевидны для Рентгена. Но ои считал себя чистым естествоиспытателем, каким и был иа самом деле, не нитересовался прикладиыми

свойствами икс-лучей и даже не подумал о том, чтобы взять патент иа открытие, которое могло бы принести ему миллиоиы. Закоичив исследования свойств реитгеиовских лучей, он перешел к изучению других проблем физики и выполнил еще целый ряд превосходных работ.

Совершенно великолепиые человеческие качества Реитгеиа нам хорошо известны из воспоминаний покойного академика А. Иоффе, который долгие годы жил в Германии, был учеником Рентгена, работал в его лаборатории и часто бывал у него дома.

Упорио заиимаясь исследоваиием новых лучей, Рентген установил, что они возникают при встрече катодиого луча с препятствием, и придал рентгеновской трубке целесообразную форму. В то время физики пользовались так изываемыми откачиваемыми трубками (в наши дии трубки откачиваются до полного вакуума и наглухо запаиваются, как электрическая осветительная лампа). Против накаливаемой током иити помещается массивиый металлический цилиндр — анод. Электроиы, истекающие с нити накаливания, ускоряются полем высокого напряжения, иаложенным иа трубку (между катодом и анодом), и с силой ударяются о «зеркало» анода. Ударившись об анод, они выбивают из него вот эти новые, рентгеиовские лучи, которые сам Рентгеи назвал икс-лучами. Их можно диафрагмировать, создавать из них пучки и заставлять их проходить через разные тонкие щели. Подобные манипуляции с ними производят для того, чтобы увидеть, отклоняются оии от прямого пути или нет. Если бы такое отклонение обиаружилось, то было бы доказано родство новых лучей со световыми. Но новые лучи не отклонялись щелями, не преломлялись, не отражались от обычных зеркал. И природа их оставалась неясной, а значит, и спорной.

Лучи эти могли быть потоком частиц, а могли быть и волиами иеизвестного до сих пор сорта. Не противоречило опыту и предположение, что лучи принадлежат к семейству электромагнитиых воли, то есть все же находятся в родстве со световыми волнами. Для этого надо было предположить лишь, что длина волны новых лучей значительио короче лучей световых. Сам Рентгеи отсутствие отклонения иовых лучей от прямолинейности — отсутствие дифракции — объяснял тем, что оии являются продольными электромагнитными волнами.

МОЖНО ЛИ ИЗМЕРЯТЬ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ АТОМАМИ?

Мне придется еще раз отклониться от главной темы книги и напомнить читателю, что такое дифракция и как физики измеряют длину волны.

Пусть какое-то неизвестное излучение падает на некий «частокол», представляющий собой правильное чередование щелей и непрозрачных участков. Просочившись сквозь щели, оно продолжает свой путь дальше.

В зависимости от того, что были за лучи и что представлял собой забор, возможны такие варианты поведения: лучи идут прямо; лучи отклоняются во все стороны; лучи отклоняются только в некоторых строго определенных направлениях. В первом случае говорят, что лучи не рассеиваются «частоколом», во втором — что они рассеиваются; в третьем — что имеет место явление дифракции.

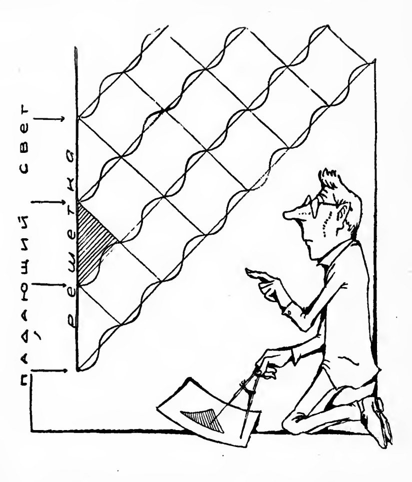
Если на пути лучей, прошедших сквозь такую преграду, поставить фотографическую пластинку, то после проявления ее в первом случае мы увидим только следы неотклоненного луча; во втором — обнаружится размытый след; а в третьем, самом интересном случае, рядом со следом прямого луча мы должны обнаружить на фотопластинке отдельные резкие следы отклоненных лучей. Это и есть дифракционная картина.

Если явление дифракции неизвестного излучения будет обнаружено, то этим будет доказана его волновая природа. Из данных опыта несложными рассуждениями, к которым мы сейчас перейдем, можно вычислить длину волны излучения.

Знакомство с дифракцией видимого света происходит в школе. Там вам, читатель, показывали маленькое стеклышко, в центре которого матовое прямоугольное пятно. Это и есть дифракционная решетка. На стеклышке нанесено множество параллельных штрихов. Расстояния между штрихами (прозрачная часть) совсем малые — доли микрона. Сами штрихи — непрозрачная часть.

Направим на решетку параллельный пучок лучей света и посмотрим, что произойдет.

На экране, установленном на пути прошедшего через решетку луча, возникает красивая цветная картина. Ярче всего виден, разумеется, след неотклоненного луча,



а по бокам от него возникают радужные полосы. Их несколько. Та полоса, что ближе всего к неотклоненному лучу, называется спектром первого порядка.

А теперь поставим на пути первичного луча цветной фильтр. Картина теряет в красоте, но выигрывает в ясности: на экране видны след неотклоненного луча и четкие следы отклоненных одноцветных лучей, которые расположились симметрично — вправо и влево от прямого направления на одинаковые углы.

Угол отклонения первого из дифрагированных лучей несет в себе информацию о длине волны света. Зная расстояние от решетки до экрана и измерив, на сколь-

ко сантиметров пятно отклоненного луча отстоит от центральиого, мы без труда по формуле тангенса вычислим зиачеиие этого угла.

А как, зная измереиный угол, вычислить длииу волны света? На этот вопрос отвечает приведенная здесь простенькая схема. Отклоненные лучи возиикают лишь в тех направлениях, где волиы, выходящие из разных щелей, распространяются в одной фазе. То есть горбы всех одииочиых волн должны образовать плоский фроит. Первый отклоненный луч возникнет тогда, когда волны, исходящие из каждой щели, будут отставать от соседок иа одну свою длииу.

Из схемы ясно, что три величииы жестко связаиы между собой: расстояние между щелями, длииа волны и угол отклонения. У меня был соблазн написать простое тригонометрическое уравиеиие, которое связывает эти три величины, ио я воздержался. Главиое, чтобы читателю было понятно следующее: из иепосредствеино измеряемых величин (расстояние между щелями и угол отклонения) может быть вычислена длина волны излучения.

Нетрудно сообразить (для этого надо лишь виимательно посмотреть на рисунок), что отклоиеиие будет тем меньше, чем меньше отношеиие длииы волиы к расстоянию между целями.

Значит, результат дифракциониого эксперимента — его удача или провал — зависят от соотношения между длиной волны и расстоянием между щелями. Если расстояние между щелями «частокола» миого больше длииы волны, то мы не заметим дифракции: все отклоиеиные лучи иичтожно мало отойдут от прямого пути. Напротив, если расстояние между щелями значительио меньше длииы волны, то обиаружится рассеяние, но дифракции опять не будет, хотя уже по другой причииe. В первом случае распространеиие излучения происходит так, словно «частокол» ие стоит на дороге луча, а во втором — решетка щелей равиоценна одной щели.

Как видим, опыт удается лишь в том случае, когда длина волны и расстояиия между щелями решетки близки друг к другу. А что зиачит «близки»? Это когда длина волны раз в десять меньше расстояния между щелями, и лишь тогда дифракциоиный опыт удается.

Как мы уже говорили, Рентген не обнаружил дифракции икс-лучей. Открытие дифракции рентгеиовских

лучей — важнейшее событие в истории науки, положившее начало проникновению исследователей в атомное строение вещества, — было сделано в Мюнхене, куда профессор переехал вскоре после обнаружения самих лучей (а оно было сделано в Вюрцбурге).

История обнаружения дифракции также весьма поучительна для демонстрации того, как иногда случайность совершается с железной необходимостью. Открытие состоялось в результате совпадения нескольких независимых событий. Место и время этого совпадения никак нельзя назвать случайным. Было естественным, что именно в Мюнхене, где кафедра физики возглавлялась Рентгеном, внимание физиков к проблемам рентгеновских лучей было пристальным. Понятно, что здесь был накоплен большой опыт, а потому именно в этом университете были лучшие по тому времени источники рентгеновских лучей.

Рентген стремился всем своим влиянием и высоким положением содействовать повышению уровня преподавания и исследований, проводившихся на кафедре физики Мюнхенского университета. Он привлекал для работы лучших ученых. Будучи сам экспериментатором и придавая весьма большое значение высокому уровню теоретической физики, он всячески проповедовал единство этих двух взаимно обогащающих подходов к изучению физических явлений. И не только проповедовал, но и настоял, чтобы ведущий физик-теоретик Арнольд Зоммерфельд занял кафедру теоретической физики. Большие надежды возлагал он и на молодого теоретика Макса Лауэ. Научные интересы этих и многих других ученых были в той или иной степени прикованы к проблеме рентгеновских лучей.

К физикам тянулись и кристаллографы, среди которых видным исследователем был Грот, аккуратный собиратель материалов о формах различных природных и синтетических кристаллов.

И уж совсем, казалось бы, не имел отношения к научным открытиям тот факт, что была в Мюнхене пивная Хофгартен, где почти все ученые систематически встречались и вели свои многочисленные беседы.

Можно ли считать случайным разговор, возникший о природе рентгеновских лучей между лицами, которых мы сейчас перечислили? Конечно, нет. Рассуждения Зоммерфельда об электромагнитном происхождении

рентгеновских лучей; идеи Грота о том, что кристаллы должны иметь периодическое строение из составляющих их частиц; блестящая работа по теории взаимодействия электромагнитных волн с кристаллом, сделанная молодым теоретиком Эвальдом, явились тем фоном, на котором предложение Лауэ поставить на пути рентгеновских лучей кристалл и попытаться обнаружить дифракцию совсем не кажется случайным.

Все собеседники, присутствовавшие при этом историческом событии, соглашались с тем, что атомы в кристалле расположены на расстояниях, соизмеримых с длиной волны рентгеновских лучей, если только понятие «волна» к этим лучам применимо. Однако сомнение вызывало то обстоятельство, что кристалл — это не «частокол», не линейная решетка щелей, а если и решетка, то трехмерная. И большинство полагало, что четкой картины, возможно, и не будет. Лишь Макс Лауэ утверждал, что картина обязательно возникнет и, как рассказывает А. Ф. Иоффе, поспорил с остальными на коробку шоколада.

Лауэ поручил провести эксперимент своему ассистенту Фридриху. Неясно было, где ставить фотопластинку, поскольку никто не знал, как должна происходить дифракция от пространственной решетки, построенной из атомов. Решили поместить ее под углом девяносто градусов к падающему лучу.

Рентгеновскую трубку включали каждый день на много часов, проявляли одну пластинку за другой, пробовали менять положение пластинки, действуя примерно так, как мартышка с очками. Не получалось. Надо заметить, что третьим действующим лицом в этом ансамбле был некто Книппинг. В его обязанности входила работа по перемещению пластинок в новую позицию. Видимо, именно он явился орудием «его величества случая», ускорившим развязку пьесы. Небрежно выполняя указания руководителя эксперимента, Книппинг поставил пластинку не на указанном месте, а за кристаллом, на пути проходящего луча. К концу фотографирования пришел Фридрих и обнаружил, что его распоряжение нарушено и, досадуя, велел пластинку выбросить и поставить новый опыт. Но вмешался опять «его величество случай» и, дернув кого-то из двоих за рукав, заставил проявить пластинку.

Так было сделано открытие.

Покажется, что случай сыграл здесь решающую роль. А по-моему, совершенио пустяковую. Раио или поздно даже бездумиое перемещеиие фотопластинки увенчалось бы успехом. Но если бы этого и не случилось, то Лауэ, иачавший разрабатывать математическую теорню явлення, без сомнення, вывел бы условня днфракцнн, которые показалн бы, где иадо ставнть пластику, чтобы обнаружить эффект.

Наконец, если бы Лауэ заболел, а Киппииг был бы вполие аккуратиым нсполиителем, а Фридрих ие допускал бы возможиости другого подходящего места для пластинки, кроме как под прямым углом к лучу, то все это свелось бы к тому, что через полгода или год открытие дифракции было бы сделаио в Англии отцом и сыиом Брэггами. Брэгг-отец в то время придумывал самые разиые подходы для исследоваиия характера рассеивания реитгеиовских лучей разными объектами и был также близок к обиаружеиию закоиов отклоиеиия реитгеиовских лучей.

Явление, о котором идет речь, оказалось в 1912 году яблоком, вполие созревшим. Легкого дуиовения ветра было достаточио, чтобы оио упало, и тайиое сделалось явиым. Пришла пора этому открытию, весь комплекс случайностей был существеиным лишь для самого иесущественного: месяцем раиьше или месяцем позже; в Аиглии или в Гермаини; Лауэ или Брэгг. Разве это важио?

Два крупиейших иаучиых открытия — открытие реитгеиовских лучей и наблюдеиие дифракции этих лучей превосходио, как мне кажется, иллюстрируют эфимериую роль случайиости в событиях такого рода.

Но число подобиых примеров можио было бы умиожить.

Делать этого мы, однако, ие станем, а скажем лишь, что остаиовилнсь мы на рентгеиовских лучах ие случайио, так как без зиакомства с их дифракцией мы ие доберемся до структуры геиа.

РАДОСТИ И ОГОРЧЕНИЯ СТРУКТУРЩИКОВ

Есть большое семейство нсследователей, которое иазывается структурщнками. Такого слова в словаре иет, так как оно жаргонное, лабораториый слэиг, ио

распространенное. Физики, химики, биологи называют так тех, кто занят определением атомиой структуры вещества, кто всей своей работой пытается ответить иа вопрос: как вещество построеио из атомов (как устроеи сам атом интересует людей другой специальности).

В своей работе структурщики используют явление, открытое Максом Лауэ: иаблюдают дифракцию рентгеиовских лучей от кристалла, структуру которого хотят определить.

Как уже говорилось, при прохождении луча через кристалл иа фотопластиике обиаруживается картииа со множеством пятеи — следов отклоиеииых (диафрагмированных) лучей. Если ставить кристалл под разиыми углами к лучу, то каждый раз мы будем фиксировать другие пятна. Всего от кристалла средией сложности можно получить несколько сот или даже несколько тысяч разных дифракционных пятеи. Расстояния между пятиами, а также их иитенсивность храият богатейшую иифоpмацию о структуре всего кристалла и составляющих его молекул. Но извлечь из таких картии сведеиия о простраиственной конфигурации одной молекулы и о взаимном расположении всех оказывается задачей совсем нелегкой и, естествеиио, тем более трудной, чем сложнее химическая формула молекулы.

Насколько задача определения структуры кристалла (трехмериое тело) сложнее нахождения расстояиия между щелями дифракциониой решетки (двухмерный объект), простейшего примера использоваиия дифракциоииого опыта для определеиия геометрии объекта, поясиим иа таком сравиении.

Аналогом кристалла в двумериом мире, очевидио, будет «решетка» обоев. Пусть иа обоях в детской комиате изображеиы девочки, играющие с мячом. Все девочки и все мячи, разумеется, совершенно одииаковы. Художник мог по-разному расположить этих девочек: либо одну над другой, либо с каким-то сдвигом, либо по три девочки в вершииах треугольника и т. д. Короче говоря, девочки могут быть расположены, или, как говорят в отиошении молекул, упакованы по-разному. Вполне поиятно, что при описании обоев вовсе недостаточно лишь указать расстояния между девочками и их взаимное расположеиие; нужно зиать, как нарисована девочка: какое у нее платье, какие кудряшки, какой мя-

чик и где он находится. Так и для кристаллического вещества нужно знать не только упаковку молекул, но и знать, как построена молекула. А получить эти сведения во много раз труднее, чем измерить расстояние между девочками на обоях и описать их вид. Кристалл построен из молекул, которые вполне аккуратно, то есть периодически, заполняют пространство, образуя трехмерную пространственную «решетку». В какой же связи находятся пятна на рентгенограмме (так называется пластинка, на которой зафиксированы дифракционные пятна) с упаковкой молекул и строением каждой молекулы?

Если говорить о принципиальной стороне дела, то ответить на этот вопрос легко. Только что при помощи простого рисунка мы пояснили, как появляются соотношения между углом отклоненного луча и расстоянием между щелями дифракционной решетки. Природа связи между рентгеновской дифракционной картиной и структурой вещества та же самая.

Но количественное усложнение — переход от простой линейной последовательности рассеивающих объектов (щелей) к сложнейшему пространственному рисунку атомов, берущих на себя роль рассеивающих центров, — воистину грандиозное.

Уже давно решение математических задач поручено вычислительным машинам. Сотрудничая с математиками-программистами, я не раз пытался объяснить сущность радостей и горестей структурщиков.

Как правило, такие собеседования выглядели примерно так. Прежде всего я выписывал на листе бумаги основные математические уравнения (они были получены уже самим Лауэ).

— Данные опыта, — пояснял я программисту, — это сведения о направлении отклоненного луча и его интенсивности. Вот соответствующие символы.

— Ясно, — следовал ответ.

— Нам нужны данные о структуре.

— В каком виде?

— Конечно, нужны координаты атомов. А еще лучше, если бы машина рисовала трехмерную картину; есть же аналоговые машины. Пусть картина будет условная: атомы — это точки, а силы связи — штрихи.

— Но позвольте! — вглядываясь в написанные мной уравнения, говорит программист. — Не морочьте

мне голову рисунками, у вас тут дела посложнее: уравнения-то не решаются!

— Ну, не совсем так, — говорю я со вздохом. — Все же решаются, но не в нужную вам сторону.

Дело в том, что характер этих уравнений таков, что, решив их, можно представить себе интенсивность и направление лучей (то есть можно составить суждение о виде рентгенограммы), если известна структура. Но нам-то надо решить обратную задачу — по виду рентгенограммы установить расположение атомов. А это вот и не получается. Проблема «квадратного корня» — так называл я в лекциях эту проклятую трудность, мешающую превратить богатейшую опытную информацию в четкие картины структуры.

Уравнение $y^2 = x$ решается только в одну сторону. Если известен y (скажем, плюс пять), то недвусмысленно вычисляется x (будет 25). Если же имеются сведения об x (25), то y может равняться плюс 5 и минус 5. У структурщиков же не одно такое уравнение, а тысяча, и с помощью рентгенограммы можно найти тысячу разных игреков с точностью до знака.

Ситуация досадная, и, несмотря на то, что этим методом были определены структуры простейших молекул, специалистам в области рентгеноструктурного анализа стало понятно, что, если проблема решения этих уравнений повиснет в воздухе, толку от метода не будет.

Пока задачи были несложными, трудность обходили самым простым способом. Так, если уравнения не позволяют переходить от рентгенограммы к структуре, то они неплохо прокладывают путь от структуры к рентгенограмме. Этим обстоятельством мы и пользовались.

— Вот эта структура кажется мне весьма логичной, произведите, пожалуйста, расчет рентгенограммы, — прошу я сотрудника.

На следующий день сопоставляем полученный расчет с опытными данными.

— Ничего похожего! — с нескрываемым удовольствием говорит коллега. — Я ведь говорил, что этот атом кристалла надо посадить вот сюда.

— Посадите, — говорю я мрачно.

Так, внося небольшие изменения в рисунок «обоев» (подвинув мяч, изменив форму кудряшек, удлинив платьице) и сравнивая расчеты с опытом, пытаемся при-

близнться к истине. Действуя этим методом, который англнчане назвалн образно методом «проб н ошибок», в конце концов добиваемся удовлетворнтельного совпадення расчетов с опытом. Минусов в такой работе два, и значнтельных. Во-первых, даже мало-мальски сложные случаи требуют колоссальных расчетов. Во-вторых, все время остается сомнение, что есть и другие решення, которые не хуже сходятся с опытом, но осталнсь намн не замеченными.

Было придумано множество математнческих ухнщрений, которые облегчалн задачн. Но довольно долгое время проблема казалась почтн неразрешенной. Значнтельный шаг вперед был сделан в середнне тридцатых годов. Теоретнческн было показано, что уравнения решаются более илн менее достоверно в нужную нам сторону (от рентгенограммы к структуре) в случае, если исследуемая молекула содержнт один тяжелый атом, н тогда проблему «квадратного корня» удается обойти. Но что делать, если интересующая нас органическая молекула не содержит таких атомов? Ввести?! Химнки, если захотят, легко могут провести эту операцию. Но вводить такой атом надо умело, чтобы не нспортнть вид молекулы.

В разных случаях это приходнтся делать по-разному: один раз тяжелый атом-метку выгодно крепнть в одном месте молекулы, другой раз — в другом. Так получаются «меченые» вещества, которые обычно н решают задачу.

Метод «тяжелого атома» н метод «проб и ошибок» могут применяться совместно. Первый подсказывает исследователю-структурщнку, какие моделн молекул имеет смысл пробовать, а второй — позволяет ему более уверенно угадывать знакн квадратных корней.

Метод «тяжелого атома» довольно простой и автоматнчный, и его выполнение может быть легко запрограммнровано для электронно-вычислнтельной машины. Но у него есть и недостаток — он не нагляден. Второй метод более творческий, требует хорошего знання всех закономерностей, налнчия развитой ннтуицни н нспользует для наглядностн моделн. Кроме того, онн по силам бедной лабораторни, не имеющей еще ЭВМ.

Не приходится удnвляться, что средн представнтелей класса структурщнков — в настоящее время их число во всем мнре наверняка перевалнло за десяток тысяч в завиcнмости от способностей, темперамента и характера мы находнм как сторонннков игры на моделях, то есть

любителей «угадать» структуру, так и лиц, полагающих необходимым следовать некоторой строгой процедуре, не содержащей в себе произвольных выдумок.

Сказать, какой из этих двух характеров «лучше», разумеется, нельзя. Можно привести примеры великолепных успехов, достигнутых на обеих дорогах. Превосходной иллюстрацией могут быть как раз работы по изучению структуры биологических веществ. Нобелевская премия за первое определение структуры белковой молекулы была присуждена Максу Перутцу, который потратил почти четверть века на расшифровку рентгенограмм различных производных белка, помеченных тяжелыми атомами. И та же Нобелевская премия за открытие структуры гена была дана Уотсону и Крику, которые достигли успеха, угадав структуру, играя на моделях.

ЕСТЬ ЛИ У НАУКИ ИСТОРИЯ?

Каждое открытие в науке есть результат слияния множества логических линий, опытных исследований и теоретического мышления. Я представляю себе историю науки в виде огромного листа белой бумаги, по которому невидимые руки чертят одновременно сотни, тысячи кривых, прямых, зигзагообразных, ломаных, всяких линий, и каждая из них, несмотря на повороты, упрямо следует своему направлению. Потом какие-то две линии встречаются, затем к ним прибавляется третья, четвертая, так постепенно создается тот мощный поток, который несет в себе весь опыт и всю мудрость знания, которое и есть Наука.

Слияние линий дает открытие. Оно неизбежно, и момент его в небольшой степени случаен. Оглядываясь назад, мы поражаемся тому бесконечному числу тоненьких ручейков, без которых было бы невозможно решающее пересечение.

Прослеживая ход всех линий, берущих свое начало в глубине веков, при желании можно перекинуть мост от законов Ньютона и Менделеева к открытию молекулярного строения гена. Но такие рассуждения могут показаться формальными. Чтобы получить яркую картину рождения открытия, достаточно включить в круг внимания несколько поколений его предков. Так, к ответу на вопрос, что такое ген, привели вот какие линии: развитие

метода дифракции рентгеновских лучей; развитие представлений о пространственном строении молекул и кристаллов (впрочем, тесно переплетающихся с прогрессом рентгеноструктурного анализа); развитие биохимических исследований строения составных частей живой клетки, прогресс описательной генетики.

Свидетелем и участником самых первых шагов науки в области применения дифракции рентгеновских лучей к изучению строения органического вещества был я сам. Эта важнейшая часть истории интересующего нас открытия началась в тридцатых годах. Да, всего лишь каких-нибудь тридцать-сорок лет тому назад. Получается так, что человек лет пятидесяти с небольшим хвостиком, по заверениям геронтологов только что покинувший период юности, который длится до пятидесяти лет (зрелый возраст — сообщаю для сведения молодых читателей, которым сорокалетние кажутся дряхлыми старцами, — длится от пятидесяти до семидесяти лет, после чего наступает старость, которая длится сколько бог даст), может писать историю науки.

На первый взгляд это может показаться странным. Но только на первый взгляд. Небольшой экскурс в статистику поможет понять, в чем тут дело.

Социологи, изучающие так называемый прогресс общества, характеризуют его временем удваивания. Оказывается, самые различные события, такие, как число технических изобретений и число автомобильных катастроф, число новых городов и количество людей, умирающих от инфаркта, число научных работников и расходы на вооружения — все это может быть изображено кривыми геометрической прогрессии. А свойство прогрессии, как известно еще со школьной скамьи, состоит в том, что имеется возможность характеризовать рост, происходящий в геометрической прогрессии, временем удваивания. Времена удваивания населения, научных работников, телевизоров, мощности взрыва бомб, энергии электронов, достигаемой в ускорителях, числа разводов, числа сочиненных стихотворений и так далее и тому подобное, разумеется, резко отличаются друг от друга. Одни параметры растут медленно, другие уменьшаются, третьи растут быстро.

Однако замечательным является то обстоятельство, что время удваивания сохраняется одним и тем же во все времена, насколько нам удается заглянуть в глубь

истории. Можно составить таблицы времен удваивания для разных стран, можно это делать для мира в целом.

Нижеследующие числа относятся ко всему миру, а значит, носят весьма усредненный характер.

Население, рабочая сила, число университетов удваивается за 50 лет.

Число важных открытий, точность инструментов, число учащихся на тысячу человек населения удваивается за 20 лет.

Число научных статей, число ученых со степенями удваивается за 15 лет.

Число телефонов, число инженеров, скорость транспорта удваивается за 10 лет.

Магнитная проницаемость железа, число международных телефонных разговоров удваивается за 5 лет.

Нас интересует научная деятельность человечества и прежде всего рост числа научных работников. Число удваивания, которое мы привели для научных статей (оно равно 15 годам), справедливо и для числа научных работников. На первый взгляд оно может показаться скромным. Но займемся арифметикой. В XVIII веке лица, которых можно было назвать научными деятелями, встречались весьма редко. Во всяком случае, их можно было перечислить по фамилиям. Медленный рост привел к тому, что в 1800 году в США было примерно 1000 человек, занимающихся наукой. Через 15 лет их стало 2 тысячи; еще через 15 лет — 4 тысячи и еще через 15 лет — 8 тысяч. Как видите, удваивание за 15 лет означает примерно удесятерение за 50 лет. Итак, к 1850 году одна тысяча породила 10 тысяч, к 1900 году 10 тысяч превратились в 100 тысяч, и к 1950 году мы имели, округляя, один миллион научных деятелей в одних только Соединенных Штатах.

Этот постоянный мерный рост (а не взрыв, как по неведению считают многие) с удваиванием научной деятельности каждые 15 лет приводит нас к следующему интересному заключению. У науки практически нет истории, она почти вся осуществлена за время жизни одного поколения. Судите сами. Будем считать, что срок деятельности ученого равен 45 годам. Так как каждые 15 лет число научных работников удваивается, то это значит, что за время научной жизни нашего седовласого современника в науку вошло 7 новых деятелей $(1 + 2 + 4)$, то есть 87,5 процента.

Итак, примерно девяносто процентов научных работников, живших от Адама до наших дней, живы по сегодняшний день. Не мудрено, что главные успехи науки, которые позволили ей стать производительной силой, достигнуты на глазах одного поколения. Вот почему теперешний пятидесятипятилетний-шестидесятилетний ученый может считать себя очевидцем почти всей истории науки и приступить к рассказу об истоках открытия структуры молекул, управляющих жизнью на Земле.

Как уже упоминалось, я решил заняться исследованием структуры органических веществ методом рентгеновской дифракции потому, что эта область была «белым пятном» на карте науки. На самом деле пятно это уже начали тогда зачернять англичане и американцы; но я об этом не знал, и мои университетские наставники говорили, что таких научных работ им встречать в журналах не приходилось.

В 1935 году, когда я кончал Московский университет, шла интенсивная работа по созданию задуманного Алексеем Максимовичем Горьким гиганта медицинской науки. Максим Горький предполагал собрать в одном учреждении представителей всех разделов физиологии, биологии, физической химии, органической химии и физики, нацелив их на исследование жизненных процессов. Так был создан Всесоюзный институт экспериментальной медицины (ВИЭМ). Под одной крышей трудились многие специалисты.

Физиологи вели работу с подопытными животными (беспрерывный лай собак под окнами моей лаборатории в памяти у меня по сие время). Психологи донимали всех сотрудников института своими бесконечными тестами на сообразительность, на объем внимания, на ассоциативное мышление, на находчивость, на быстроту реакции и еще бог знает на что; испытывалось влияние на все эти качества самых разных факторов: и утомляемости, и времени года, и влияния темноты, и электрических полей, и высоты над уровнем моря, для чего организовывались желанные экспедиции на Эльбрус. Химики занимались выделением и изучением белков, веществ, вызывающих рак, исследовали лечебные свойства различных веществ: природных и синтетических. Физики занимались широчайшим кругом вопросов: от исследования влияния пения на зрение до конструирования счетчиков ионизирующего излучения. Работа кипела.

В одиом из отделов ВИЭМа было решено наладнть нзучеине строения бнологическн важных веществ различиымн физнческнмн методами. Это иаправление возглавлялось биохимиком С. Р. Мардашевым. В осиову этих работ была положена идея — от простого к сложиому. Тогда инкто не мечтал в обозрнмом будущем нсследовать структуру такнх огромных н сложных молекул, как белкн. Что же касается нукленновых кнслот, то о иих хнмикн имели вообще самое смутиое представление. Но зиалн, что белок построен из полипептндов, а полнпептиды состоят нз аминокнслот, следовательио, с них и иадо иачинать.

Эта абсолютио правнльиая ндея, которая н привела в коиечном счете к успеху в решеннн структурной проблемы в биологнн, иачала разрабатываться прнмерио тогда же н в США Лайнусом Полнигом.

МАСШТАБ — СТО МИЛЛИОНОВ

Во время второй мировой войны наша страна и Амернка находилнсь далеко не в равиом положеннн. Отиоснтельио скромиое участие США в войне разрешало им не только не свертывать, но даже развивать теоретическне иаучные исследовання, которые ие нмели непосредствеииого отношення к военному потеициалу.

Совсем ие так было у нас. Исследоваиия, не работавшне на оборону, былн прекращены, н лабораторнн, повернуть которые на военные дела было иевозможио, поддерживались в состояннн своего рода анабиоза. Их ие закрывали, так как помнили, что иаступит победиый конец войне, н мнрнлнсь с тем, что иекоторые снлы, иеобходимые потом, существуют в состояиии спячки. Дватри научных работиика, представляющие ту нли иную область, сохранялнсь так, как в голодиые годы берегут семена будущего урожая...

Вериувшись к науке после войны, я продолжал прерванную работу так, будто не было четырехлетнего перерыва. Но, конечио, все мы очутились в весьма иевыгодиой по отношению к нашим заокеаискнм коллегам позиции. Оии ушли вперед.

Чтобы лнквидировать отставаиие в тех областях наукн, которые были иеобходимы для сохранеиия иашей

страной ее высокого положения на мировой арене, были отпущены огромные средства. Что же касается физиков, работа которых не имела отношения ни к атомной энергии, ни к полупроводникам, то им пришлось заниматься в основном разработкой теорий, поскольку для этой цели нужны лишь бумага да карандаш и можно, хотя и с сожалением, обойтись без дорогостоящей аппаратуры. А что, если добавить к письменным принадлежностям несколько килограммов воска, газовую горелку и пару металлических формочек? Зачем? Да чтобы изготовлять шарики, которые должны были изображать атомы в масштабе один к ста миллионам, и из них строить модели молекул.

Как выглядит модель молекулы? Представим себе модель молекулы нафталина. В масштабе сто миллионов один ангстрем превращается в сантиметр, и молекула нафталина, состоящая из восемнадцати атомов, умещается на ладони. Красивая молекула. Глядя на такие модели, можно поразмыслить над тем, как молекулы упаковываются в твердом теле, увидеть и понять, как такая молекула повернута по отношению к соседней и как подходит к ним третья молекула.

Возясь с моделями, можно убедиться, что проще собрать из моделей структуру и вместо словесного описания привести фотографии. Но сколько надо было приложить усилий, чтобы в кустарных условиях наладить отливку шариков, готовить из них срезы, скреплять все это воедино, сверлить в них отверстия, чтобы они надевались на стерженьки, укреплять молекулы на штативах, чтобы можно было их поворачивать друг к другу под любыми углами.

Года через два работа с моделями начала приносить плоды. Результат был ощутимый и окупал затраченные труды с лихвой. Рассматривая упаковки органических молекул в кристаллах для тех немногих случаев, где характер взаимного расположения молекул был заранее установлен, удалось подметить важный закон: оказалось, что молекулы упаковываются плотнейшим образом. Для проверки этой гипотезы нужно было предсказать упаковку молекул в структурах, которые были еще неизвестны. Это было сделано, и последующие опыты подтвердили справедливость принципа, обладающего большой эвристической ценностью.

Так наметился новый путь поиска неизвестной структуры, и стало ясно, что молекулярные модели являются не только наглядным пособием, но и средством исследования.

В конце сороковых годов в жизнь начали входить синтетические полимерные материалы. Поскольку население планеты стало одеваться в нейлон и капрон, другие же синтетические вещества приобрели важнейшее значение в промышленности, то их структура стала предметом исследования многих лабораторий мира. Прежде всего по этой причине, а также потому, что полимерные вещества обладали рядом особенностей, интересных для естествоиспытателей, на эти работы стали отпускать побольше средств.

Молекулы полимерных материалов — это молекулы-гиганты. Большей частью они представляют собой линейные последовательности, цепочки атомов, достигающие иногда феноменальной для мира атомов длины — порядка микрона.

С самого начала казалось очевидным, что представления о молекуле как о физическом теле помогут решить множество вопросов в химии молекул-гигантов. На одном из первых всесоюзных съездов, посвященных этим веществам (начало пятидесятых годов), я демонстрировал свои игрушки, изображавшие полиэтиленовые молекулы. Каждая из них была длиной с полметра. Она изгибалась и крутилась как змейка, ибо (это следовало из многих фактов) части ее, соединенные ординарной химической связью (одним валентным штрихом), могли поворачиваться около линии этой связи. Таких «шарнирных» связей в молекуле много, поэтому она и извивается, принимая самые причудливые формы. Показывалось много моделей, и все они опровергали бытовавшее тогда мнение, будто в полимерных материалах цепи молекул беспорядочно перепутаны. Перекручивая модельки, можно достаточно убедительно показать, что, во-первых, в спутанных цепях неминуемо образуется огромное число больших пустот, отчего сильно уменьшается плотность вещества (а это противоречит опыту), и, во-вторых, невозможно объяснить поведение легко кристаллизирующихся полимеров таким допущением.

Как выяснилось позже, очень интересное применение молекулярным моделям нашел Полинг. В его ла-

бораторнн систематнческн нсследовались структуры аминокислот. В процессе этого исследования, а также для иллюстрации полученных результатов шнроко использовалнсь объемные моделн молекул. Белок, как нзвестно, построен нз последовательно соединенных аминокнслотных остатков. Что может быть естественнее попытаться собрать нз моделей аминокнслот кусочек белковой молекулы?

Эта задача была выполнена Полннгом в начале пятндесятых годов. Из срезанных шариков-атомов,

скрепленных друг с другом стерженьками, была собрана так называемая альфа-спираль. Полинг показал, как изящно и непринужденно складываются атомы в устойчивое спиральное образование. Из этой модели следовали геометрические размеры: шаг спирали, диаметр спирали, которые могли быть сверены с данными рентгеноструктурного анализа уже не аминокислот, а самих белковых молекул.

Работы по упаковке молекул и работы Полинга по изучению формы молекул подхватили многие исследователи. К этому времени уже не надо было доказывать, что успешная работа в области исследования структуры сложных органических веществ должна состоять из комбинации рентгеноструктурного анализа и работы с моделями. Но все же деление структурщиков на «ригористов» и «авантюристов» сохранилось. Одни исследователи полагали, что модели надо использовать лишь для проверки результатов, полученных строгим академическим путем, другие считали, что решение сложных проблем обязательно надо начинать с моделей.

При определении структуры гена встретились исследователи обоих кланов, и проблема в конечном счете была решена атакой с двух сторон.

ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ

Открытие химической природы генетического материала было сделано учеными, изучавшими передачу наследственности у микроорганизмов. Этим веществом оказалась дезоксирибонуклеиновая кислота, которую, чтобы не ломать язык, называют ДНК (дээнка). ДНК содержится в хромосомах всех клеток.

Фундаментальным обстоятельством, добытым исследователями, является то, что при делении клетки количество ДНК удваивается, и притом совершенно точно. Каждое новое существо возникает благодаря слиянию так называемых гамет. Гаметы образуются из половых клеток. Половая клетка, как и всякая клетка, состоит из парного числа хромосом. При ее делении все пары расходятся и каждая гамета получает по одному представителю каждой хромосомной пары. При делении половой клетки и образовании гамет наблюдается уменьшение количества ДНК вдвое.

Эти и некоторые другие сведения, полученные рядом выдающихся генетиков и бактериологов к сороковым годам, позволили достаточно уверенно ставить знак равенства между проблемой структуры гена и задачей определения структуры молекулы ДНК. Во всяком случае, такого мнения держался молодой американский микробиолог Джим Уотсон, когда прибыл на стажировку в Европу в 1951 году.

Уотсон не сразу нашел то самое место, вероятно единственное, где были люди, которые могли ему помочь и принять участие в решении задачи, важность которой ему была очевидна. Этим местом оказалась лаборатория Брэгга, младшего из двух Брэггов, которые 40 лет назад открыли метод рентгеноструктурного анализа, показав, что этот метод позволяет найти расположение атомов в таких «сложнейших» кристаллах, как поваренная соль. Кстати, лаборатория эта сохранила за собой мировое первенство в области определения структур кристаллов с помощью рентгеновских лучей, и все другие английские лаборатории, занимающиеся теми же проблемами, отпочковались в свое время от лаборатории Брэгга.

У Брэгга Джим Уотсон нашел коллегу — физика Фрэнсиса Крика, с которым и приступил к исследованиям. Двухлетняя совместная их работа привела к открытию структуры ДНК.

Ко времени начала дружбы Уотсона и Крика была обнародована работа Полинга по структуре белковой альфа-спирали. Именно это исследование и привело Уотсона и Крика к мысли, что атака на структуру ДНК должна быть сделана тем же методом. Они решили конструировать возможные модели ДНК и сравнить параметры полученных моделей с экспериментальными данными, полученными в другой лаборатории Морисом Уилкинсом и Розалиндой Франклин.

Работа была начата не на пустом месте. Самое главное, им был ясен сам принцип работы с моделями. Атомы надо было размещать так, чтобы они не налезали друг на друга, чтобы вся большая молекула сворачивалась на себя как можно компактнее. При этом нельзя допускать искажения расстояний между химически связанными атомами, не надо также портить и валентные углы.

Что же касается порядка, в котором соединены ато-

мы в огромной линейной молекуле ДНК, то здесь практически все нужные сведения уже были установлены химиками. Было известно, что ДНК — полимерная молекула. Единицей строения ее является нуклеотид, который состоит из соединенных друг с другом фосфатной группы, сахарной группы и основания. Чередованием фосфатных и сахарных групп строится основная цепь этой полимерной молекулы. Основания являются привесками. Было известно, что эти привески бывают четырех сортов: аденин и гуанин — частицы побольше размером, и цитозин и тимин — частицы меньшего размера.

Можно было предполагать, что сахарно-фосфатная часть цепи строго регулярна. Что же касается оснований, то они обязательно должны быть распределены вдоль цепи совершенно нерегулярным образом. Уотсон и Крик уже с самого начала предполагали, что именно в этом разнообразии возможных расположений оснований вдоль цепи молекулы и кроется разнообразие генов.

Собрав модель кусочка молекулы, можно было убедиться в том, что далеко не все конфигурации цепи возможны. Вдохновленные примером Полинга исследователи ДНК поняли, что и эта молекула образует спираль. Но, конечно, это был не единственный довод. Еще в самом начале своей деятельности Уотсон получил рентгенограмму ДНК, в которой Крику, великолепному знатоку теории дифракции рентгеновских лучей, удалось увидеть признаки спирального образования.

Сопоставление с более обширными и тщательными опытными данными Уилкинса и Франклин показало, что одной спиралью не обойдешься. Диаметр спирали, который определялся по рентгенограммам, требовал, чтобы в образовании структуры участвовало несколько спиралей. Существовали некоторые доводы, что таких спиралей должно быть три штуки. Следовательно, надо было скрутить три спиральные молекулы и припасовать их друг к другу так, чтобы удовлетворить требованиям насыщения всяческих сил, действующих между основаниями этих трех спиралей.

Теперь, когда разгадка известна, кажутся совершенно непонятными попытки Крика и Уотсона найти решение в трехспиральном варианте. А на это был потрачен целый год. Лишь после многолетних проб Уотсону

пришла в голову мысль: а может быть, спиралей не три, а две?

Проба двойной спирали почти немедленно увенчалась успехом. Модель получилась изящной, естественной и включала в себя важные открытия других исследователей, а именно данных Франклин о том, как расположены фосфатные группы и замечания Доногю о том, какая связь между аденином и тимином является наиболее подходящей. Просто невозможно было допустить ошибку: уж очень «хорошо» и притом единственным способом припасовывались друг к другу две тождественные цепочки, составляющие двойную спираль.

Таким образом двойную спираль можно разодрать на части, но если предоставить двум цепочкам соединиться вновь, то они повторят в точности первоначальное взаимное расположение. Именно это обстоятельство и является ключом к пониманию процесса деления клетки и передачи наследственности.

Достаточно представить себе, что в какой-то момент времени двойная спираль расщепляется на две совершенно тождественные цепи. Теперь каждая молекулярная цепь начинает работать как матрица, которая собирает на себе из окружающего сырья (фосфатные группы, сахарные группы, основания) точно такую же молекулу.

Так можно понять образование двух молекул из одной, а значит, и механизм деления клетки. Репликация гена — так называют это явление.

В 1962 году Джемс Уотсон вместе с Фрэнсисом Криком и Морисом Уилкинсом получили в полном согласии со своим уверенным ожиданием Нобелевскую премию в области медицины и физиологии за самое крупное открытие в области генетики, произошедшее со времен Менделя. Вскоре после этого Уотсон выпустил в свет книгу под названием «Двойная спираль», посвященную истории этого открытия, то есть событиям, разыгравшимся в течение 1951—1953 годов.

Эта книга, изданная в 1968 году (русский перевод в 1969 году), имела большой успех. Она несколько недель фигурировала в списках бестселлеров наравне с самыми увлекательными модными романами. Успех объясняется тем, что книгу могут читать и лица, не разбирающиеся в структурной химии. Они могут пропускать странички, в которых ведется разговор о водородных связях

и взаимодействии ионов, и читать с полным вниманием ту основную часть, которая с редкой непосредственностью и откровенностью описывает взаимоотношения между людьми, участвовавшими в этом открытии.

Все участники пьесы (кроме одного) живы и здравствуют и могли бы также рассказать, как это все получилось. Однако вряд ли в ближайшее время кто-либо возьмется за перо для этой цели. Двойная спираль — геометрический образ молекулы ДНК — потеряла литературную невинность, и трудно соревноваться с Уотсоном, который пишет живо, образно, занимательно.

Надо сказать, правда, что задача автора в изложении предмета исследования сильно облегчается идейной простотой научной проблемы. Поиск структуры молекулы ДНК, как мы уже говорили, заключался в увлекательнейшей игре с атомными моделями — шариками на проволочках, проволочками, скрепленными пружинками, или кусочками деревянных шариков, соединенных штифтами. Надо было собрать такую модель молекулы, которая объясняла бы имевшийся к тому времени довольно скудный эксперимент. Повесть о пробах и ошибках на этом пути умело чередуется с рассказом о различных путешествиях и встречах автора (как отчетливо видна из этой книги колоссальная катализирующая способность встреч и бесед ученых разных стран, разных профессий и разных наклонностей в развитии науки; до чего узко и близоруко то начальство, которое считает, что сотрудник должен находиться у своего лабораторного стола, не «болтаться» по конференциям и коллоквиумам, создаваемым непрестанно во всех уголках мира).

Но, конечно, главная причина, которая помогла Уотсону создать из описания научного поиска увлекательное литературное произведение, состоит в том, что вместе с автором в книге действуют несколько ярких персонажей, сложные взаимоотношения между которыми имеют самую прямую связь с открытием структуры ДНК. Во-первых, далеко не просты отношения между Криком и Уотсоном, играющими «в шарики», и Морисом Уилкинсом и Розалиндой Франклин — работниками другого научного учреждения, — которые являются обладателями экспериментальных данных по ДНК. Опытные сведения необходимы нашим главным действующим лицам, опыт и только опыт может направить идеи по правиль-

ному руслу и помочь выбрать из сотен схем одну правильную. Но авторы эксперимента Моррис и Розн сами хотят пожинать труды своих усилий. Не так-то интересно затратить годы труда, чтобы пара жонглеров атомами-шариками заслужила мировое признание.

И другая острая психологическая ситуация под стать авантюрному роману. На другом берегу океана знаменитый Лайнус Полинг также трудится над созданием модели гена. И, казалось бы, преимущество должно быть на его стороне, так как совсем недавно он показал, что работой с атомными моделями можно существенно продвинуться в понимании структуры белков. Англичане не хотят отдать пальму первенства американцам. Итак, идет гонка за Нобелевской премией, ибо ясно, что успех в решении столь значительной задачи будет увенчан самым огромным лавровым венком.

И эти два конфликта не исчерпывают ситуацию. Не гладкими поначалу являются взаимоотношения Крика с директором лаборатории сэром Лоуренсом Брэггом. Внедрение американского юноши в английский круг также требует некоторого приспосабливания.

Науку делают люди, и их склонности и темперамент, стремления и принципы, входят в игру наряду с математическими формулами и физическими приборами. Вот это и удалось показать Уотсону в своей книге.

ПО ЗАСЛУГАМ...

Ну а как же насчет роли случая в открытии структуры ДНК? Невелика эта роль. Если еще в открытии Рентгена и Лауэ поклонники «госпожи удачи» выловят несколько незначительных фактов, подчеркивающих роль случайных совпадений, то в исследовании Уотсона и Крика улов будет уж совсем ничтожным. Однако наш сюжет донельзя ярко показывает, что открытие — это не выигрыш автомобиля по лотерее. Действительно, личные достоинства владельца билета в выигрыше никакой роли не играют, это уж точно. Что же касается тех, на чью долю выпало счастье сделать крупное научное открытие, то они по праву заслужили свою славу.

— С этим никто не спорит, — возразит мне читатель. — Но ведь имеются и другие достойные люди. То обстоятельство, что из сотен достойных судьба выбрала именно вот этого одного, — это уже прихоть случая. Почему открытие произошло в Англии и в начале пятидесятых годов? С таким же успехом оно могло произойти в другой стране и в другое время.

Нет, категорически не согласен я с подобным мнением. Открытие структуры гена закономерно. Оно произошло в тот момент, к которому оно созрело, и в том месте, в котором на него обращали внимание. А что касается участников открытия, то их выбор был практически единственным.

Судите сами, время — начало пятидесятых годов, можно ли было за десять лет до этого срока сколько-нибудь серьезно думать, что закономерности в строении вещества могут быть продемонстрированы в масштабе один к ста миллионам с помощью деревянных, металлических или пластмассовых моделек? Конечно, нет. Ведь о плотной упаковке молекул в кристаллах и компактной структуре макромолекулы люди узнали лишь в 1945—1948 годах, и только в самом конце сороковых годов Полинг доказывает эвристичность работы с моделями для сложных биологических систем на примере альфа-спирали белка.

Но этого мало. Вряд ли кто-либо рискнул взяться за возню с шариками и стерженьками, если бы не была видна возможность проверки найденной модели. А ведь только в сороковых годах были получены первые рентгенограммы ДНК; теоретические же расчеты, показывающие возможность нахождения параметров спиралей по рентгенограммам, были начаты лишь за несколько лет до работы Уотсона и Крика.

Так же точно и важнейшие химические находки, позволившие уверенно наметить порядок присоединения различных химических групп, образующих ДНК, были сделаны также в последние десятилетия.

И наконец, лишь к этому времени стала крепнуть уверенность в том, что явления наследственности связаны с молекулой ДНК.

Все эти линии исследований пересеклись только к пятидесятому году. Открытие не могло быть сделано

раньше, а интерес к проблеме был настолько значительным, что было бы невероятным также, если бы оно задержалось.

Не случайно, что открытие было сделано в Англии. Именно здесь вполне естественно произошла встреча биолога Уотсона с нужным ему физиком. Но почему этим физиком оказался именно Крик? Прочтите внимательно книгу Уотсона, и вы поймете, что Крик был одним из трех-четырех возможных претендентов на будущую Нобелевскую премию. А может быть, даже и единственный, если поставить вопрос так: кто в это время в Англии проявлял одинаковый интерес к структуре биологических веществ и к теории рентгеноструктурного анализа?

Выходит, что выбор Уотсоном подходящего коллеги был крайне ограниченным.

Ну а почему Уотсон? На этот вопрос, пожалуй, трудно ответить. Ясно лишь одно — к пятидесятым годам неминуемо должен был найтись биолог, удовлетворяющий трем требованиям: талантливость (не стоит определять, что это такое, чтобы не завязнуть в понятиях), интерес к молекулярной природе гена и понимание, что один в поле не воин и что для решения проблем молекулярной биологии надо найти коллегу в стране физиков. Этим требованиям удовлетворял Уотсон. Можно ли по этой причине назвать его баловнем судьбы? Конечно, нет. Своим успехом он обязан своим разуму и нервной системе...

Мы попытались ответить на вопрос, почему структуру гена открыли Уотсон и Крик. Можно попробовать объяснить, почему избранником судьбы не стал Полинг или кто-нибудь еще.

Как говорилось, Полинг искал ответ на вопрос о структуре гена одновременно с будущими победителями. Мне кажется, что он был слишком самонадеян в этом поиске. Успех с альфа-спиралью в белках заставил его думать, что он сумеет найти ответ, лишь играя с моделями. Полинг не был связан с экспериментаторами, владевшими рентгенограммами нуклеиновых кислот. В теории рентгеноструктурного анализа он не был опытен, а привлечь на помощь кого-либо из знатоков этой теории ему, видимо, не хотелось. За эти предположения профессор Лайнус Полинг, я надеюсь, не будет на меня в обиде. В конце концов это ему комплимент,

так как он не сделал этого открытия, конечно, не из-за нехватки таланта.

Так что, просмотрев все возможности, мы приходим к заключению, что открытие структуры гена так же, как, впрочем, и другие научные открытия, произошло тогда, когда оно должно было произойти, и было оно сделано теми людьми, которые больше всего заслуживали благосклонного отношения «госпожи удачи».

СТРУКТУРА ГЕНА

Написав название параграфа, я задумался, что делать дальше. Рассказать о структуре ДНК относительно несложно, но ведь у меня иная цель — объяснить читателю, каков атомный механизм формирования наследственных признаков. А посильная ли эта задача? Дорога от структуры ДНК даже к цвету глаз, не говоря уже к складу характера, очень длинная и тернистая. Местами она превращается в тропинку, а то и вовсе прерывается непроходимыми оврагами.

О колоссальных успехах биологической физики за последние десятилетия я хорошо знал и тем не менее решил посоветоваться с узким специалистом, превосходно знающим молекулярную биологию.

— Могу ли я пренебречь некоторыми деталями, неясностями, противоречиями и ограничиться изложением концепции «один ген — один фермент»? — спросил я его.

— Положение не совсем так формулируется, — ответил он. — Сейчас говорят «один ген — одна полипептидная цепь».

— Но можно мне не входить в эти детали? Принцип ведь мало меняется, а нашим читателям, мне думается, интересно знать лишь общую идею.

— Пожалуй, можно, — согласился коллега.

И я решил ограничиться ответом на небольшое число вопросов, которые мне кажутся важнейшими.

Вопрос первый: в каком взаимоотношении находятся ген и молекула ДНК?

Оказывается, ген — это не молекула. Ген — кусочек молекулы. Одна молекула содержит в себе множество генов, расположенных один за другим.

Молекулы ДНК видны в электронный микроскоп и

кажутся узенькими длинными палочками. Чтобы правильно представить себе соотношение длины и ширины этой молекулы, вспомните железнодорожный рельс километровой длины.

Как уже говорилось выше, молекула представляет собой линейный остов, к которому привешены в сумбурном порядке азотистые основания четырех типов А, Г, Т и Ц.

Так вот, один ген — это участок цепи ДНК, который состоит примерно из полутора тысяч этих оснований. Специфичность гена, то есть то, что этот ген имеет отношение к цвету глаз, а не к форме носа или что он человеческой особи, а не кошки, определяется порядком в расположении А, Г, Т и Ц. Можно сказать, что каждый ген характеризуется на молекулярном языке фразой, состоящей из полутора тысяч букв.

А как определить, где кончается один ген и начинается другой? — спросите вы. Вопрос законный, и на него есть ответ. Так же как в азбуке Морзе, на четырехбуквенном языке азотистых оснований существует символ, соответствующий точке, которая отделяет один ген от другого. Вас может заинтересовать количество генов в одной ДНК.

Считается, что их, вероятно, примерно десять тысяч; и каждая человеческая особь характеризуется десятью тысячами признаков. Но ведь на Земле живет около четырех миллиардов людей, а признаков всего лишь десять тысяч, как же быть с этим несоответствием?

Число разных вариантов генных структур будет необозримо больше, чем четыре миллиарда ($4 \cdot 10^9$). Действительно, если каждый ген может выступить в двух разновидностях (голубые глаза — карие глаза), то число этих структур будет равно 2^{10000} по той же причине, по которой число вариантов распределения «красного» и «черного» в случае пяти рулеточных игр равно 2^{32}. Много ли это — два в степени десять тысяч? Порядочно. Так как два в десятой степени равно примерно одной тысяче, то есть десяти в кубе, то 2^{10000} будет равно 10^{3000} — единица с тремя тысячами нулей. А это число «чуточку» больше четырех миллиардов. Комментарии нужны? Пожалуй, нет.

Теперь надо сказать несколько слов о работе гена и пояснить таинственную формулу «один ген — один фермент».

Какая ткань в организме вырастет из клеток, определяется в первую очередь белковыми молекулами — ферментами, фабрикуемыми генами. Каждый ген создает одну определенную молекулу белка — один фермент. С помощью этого фермента и происходит строительство всего организма. При этом каждый фермент на редкость специализированный работник. Один фермент устанавливает, образно говоря, только стекло форточки, что на кухне, другой ответствен за электрический выключатель в столовой комнате, третий — за левый водопроводный кран. Но как он это делает? К сожалению, ответить на этот вопрос сейчас просто невозможно. Пришлось бы писать другую книгу, более профессиональную и более проблемную. А эту надо кончать. Мне остается сказать лишь несколько общих слов.

Открытие структуры ДНК и механизма репликации гена явилось мощным толчком для развития молекулярной генетики. Множество явлений получило истолкование на молекулярном уровне, ряд фактов был успешно предсказан. Не надо, конечно, представлять себе, что с этим открытием внесена уже достаточная ясность в понимание всех жизненных процессов. Напротив, надо честно признаться, что в этом направлении сделаны лишь первые шаги. Тем не менее важность открытия Уотсона и Крика огромна уже хотя бы потому, что для всех естествоиспытателей стала очевидной справедливость интерпретации жизни на молекулярном уровне и, следовательно, возникла уверенность в принципиальной возможности вмешательства химическими и биохимическими методами в формирование потомства. Когда человечество приступит к этой задаче, грандиозность которой заставляет ежиться, и приступит ли к ее выполнению вообще, сказать трудно. Но в то же время вся история развития науки показывает, что науку не остановишь. А это означает, что, как только будет изучено устройство молекулы ДНК и установлен порядок следования оснований в молекуле конкретной особи (пока что нет такого способа), на повестку дня станет вопрос о подправке структуры молекулы ДНК. Но дальше простирается область предположений. Авторы фантастических романов уже достаточно наэксплуатировали сюжет создания новых животных и нового человека, поэтому не стоит лишать их возможности стяжать новые лавры и самое время поставить точку.

ИТАК...

Мой гость Александр Саввич сидел в кресле, попыхивал трубкой и наблюдал за тем, как я тружусь. Я правил свою рукопись. Работа шла к концу.

— О чем речь на последних страницах?

— О структуре гена.

— Какое же отношение это имеет к теме книги?

— Я рассказал о случайностях в наследовании признаков. Надо же было показать, как это замечательное явление объясняется атомной структурой живого вещества.

— А по-моему, это задача другой книги.

— Скажи на милость, какой поборник линейности сюжета! Это тебе не детектив.

— Стройная сюжетная линия всегда считалась достоинством любого литературного произведения, — назидательно сказал Александр Саввич.

— Не знаю, где это считалось. Посмотри любой классический роман, и ты увидишь, что сюжет всегда смахивает на ветвистое дерево: есть главная линия, но имеется и множество ответвлений.

— Но если даже и так, то все боковые сюжеты должны служить одной цели.

— Ну что ж, это справедливо. Именно так старался поступать и я.

— Ничего ты не старался. Твоя тема — вероятность.

— Да нет, не совсем так. Моя тема та же, что и в моих предыдущих популярных книгах, — научный метод мышления. Пропаганда этого метода, демонстрация его силы, попытка убедить читателя, что только с помощью этого метода можно трезво оценивать и жизнь общества, и свою собственную судьбу, — в этом я вижу их задачу.

— Позволь, позволь, а название книги?

— Ты не дал мне закончить. Я же не повторяюсь в своих книгах. В этой я решил показать читателю, как работает один важнейший элемент научного мышления — вероятностный подход к событиям. Это ствол дерева. Но если кое-где я уходил в сторону от сюжетной линии, то все же оставался в рамках главной задачи — показа могущества научного метода мышления.

Мой друг молчал. Он листал рукопись, читал некоторые страницы. Я следил за выражением его лица —

ведь он один из первых читателей! — стараясь поймать хоть крошечную похвалу.

— Концовка нужна! — сказал Александр Саввич.

— Нужна, — уныло согласился я. — А что писать? Повторить уже сказанное?

— Чего сомневаешься? Можно подумать, что чтение научных диссертаций не является твоей повседневной работой.

— При чем тут...

— Диссертации заканчиваются выводами. Напиши выводы. Твои коллеги будут довольны. Поймут, что хоть ты и пытаешься заняться литературой, но все же свято хранишь привычки научного деятеля.

— Гм... может, и правда попробовать.

ВЫВОДЫ

1. Детальным рассмотрением в книге самых различных примеров, взятых из жизни и науки, показано, что почти всюду приходится сталкиваться со случайными событиями.

2. В ней дано новое (переставлен порядок слов и иначе расставлены знаки препинания) определение понятия случайного события.

3. Ярко показана польза от теории вероятностей для суждения о таких случайных явлениях, как автомобильные катастрофы, смерти и рождения, встречи и расставания. Основная мысль, обсуждаемая здесь, состоит в следующем: по мере увеличения числа повторяющихся случайных событий предсказания общего результата становятся все более достоверными, а при очень большом их числе случайности складываются в незыблемые закономерности. Автор вынужден отметить, что несколько другими словами эта мысль была ранее высказана в других романах, научных очерках и диссертациях.

4. Неоднократно подчеркивается огромная роль закона больших чисел. Практическое значение этого закона основывается на том, что мы живем в мире миллиардов молекул, миллиардов повторяющихся событий, миллиардов генов, миллиардов людей и животных.

5. В книге показана целесообразность введения количественных оценок в областях науки, трактующих о добре и красоте. Демонстрируется возможность и

польза введения вероятностных подходов для решения некоторых проблем эстетики и этики.

6. Продемонстрировано...

Александр Саввич смотрел через мое плечо, пока я отстукивал эти строки.

— Хватит, — сказал он. — Становится скучно. Что еще есть в книге, читатель увидит по оглавлению, а ты лучше скажи мне следующее: каково воспитательное значение твоей книги?

— На эту тему я размышлял. Вот мой ответ. Вероятностный подход к жизни воспитывает гражданские чувства. В том, чтобы вероятность автомобильной катастрофы была минимальной, в том, чтобы среднее число краж, происходящих за год, стремилось бы к нулю, в том, чтобы вероятность детской смертности неуклонно падала, я заинтересован как член общества. Небрежное отношение к этим достижениям как к чему-то, что меня не касается, есть проявление эгоцентризма, нежелательного в обществе.

Вероятностный подход ко всем явлениям, происходящим в мире молекул и мире людей, приучает человека думать о себе не только как о неповторимом «я», но также как о члене общества, члене коллектива. Человек, лишенный этой мысли, чувствует себя безнадежно одиноким и потерянным в сложном мире. Человек иного воспитания, такой, который ощущает не только свое «я», но и свою принадлежность обществу, становится не простой единицей, а социальной единицей — умножает себя на сотни тысяч. И поэтому становится счастливее.

Я пытался увидеть на лице друга одобрение. Если оно и было, он мне его не показал и лишь сказал:

— Ты забыл, чем заканчиваются выводы.

— Ах да. Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность своему другу за полезную беседу, своему редактору за труд, в результате которого рукопись приобрела такой вид, а также будущим читателям за терпение и снисходительность.

СОДЕРЖАНИЕ

Китайгородский Александр Исаакович

НЕВЕРОЯТНО — НЕ ФАКТ. Издательство ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия», 1972.
256 стр., с илл. («Эврика»)

Редактор **В. Федченко**
Художники **А. Колли, И. Чураков**
Художественный редактор **Б. Федотов**
Технический редактор **Г. Прохорова**
Корректоры **Г. Василёва, З. Федорова**

Сдано в набор 29/IV 1972 г. Подписано к печати 27/IX 1972 г. А01286. Формат $84 \times 108^{1}/_{32}$. Бумага № 2. Печ. л. 8 (усл. 13,44). Уч.-изд. л. 13,6. Тираж 100 000 экз. Цена 58 коп. Т. П. 1972 г., № 113. Заказ 682.

Типография издательства ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия». Москва, А-30, Сущевская, 21.

58 коп.

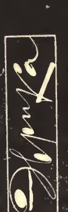
АЛЕКСАНДР ИСААКОВИЧ КИТАЙГОРОДСКИЙ

Читатели знают доктора физико-математических наук, профессора А. Китайгородского по его книгам «Физика — моя профессия» и «Реникса», вышедшим в нашем издательстве.

Многообразен круг творческих интересов этого ученого. Он руководитель крупной лаборатории Академии наук СССР, председатель и член ряда ученых комиссий и советов, автор многих научных трудов и монографий. И в то же время он один из пропагандистов научных знаний среди молодежи. Широко известны его статьи в газетах и журналах, его научно-популярные книги, его выступления на диспутах и встречах с читателями.

Несомненный интерес представляет и настоящая его книга «Невероятно — не факт», в которой рассказывается о роли такой науки, как теория вероятностей в различных областях знания и человеческой деятельности.

МОЛОДАЯ ГВАРДИЯ



МОСКВА, 1972